

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra robototechniky**

**Realizace efektoru s přísavkami pro PR**  
**ABB IRB 140**

*Realization of a Vacuum Effector for the ABB IRB 140*  
*Industrial Robot*

Student: Bc. Jaroslav Tomáš

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Krys

Ostrava, 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jaroslav Tomáš**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Realizace efektoru s přísavkami pro PR ABB IRB 140**  
**Realization of a Vacuum Effector for the ABB IRB 140 Industrial Robot**

Zásady pro vypracování:

1. Na základě stávajícího návrhu efektoru s přísavkami připravte výrobní dokumentaci pro jeho realizaci.
2. Proveďte montáž vyrobeného efektoru na určený PR ABB IRB140 na Centru robotiky. Propojte ejektor s řídicím systémem robotu a zajistěte funkčnost efektoru.
3. Proveďte funkční testy efektoru a specifikujte vhodné nastavení kompaktního ejektoru.
4. Detailně zdokumentujte postup a způsob propojení ejektoru s řídicím systémem PR. Proveďte popis a vyhodnocení funkčních testů efektoru.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a pdf a výkresovou dokumentaci v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

SKAŘUPA, J. MOSTÝN, V. *Teorie průmyslových robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2000. 146 s. ISBN 80-88922-35-6.

DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.

ABB. *Technical reference manual - Controller Software IRC5 - System parameters RobotWare 5.0*. Revision G. Document ID: 3HAC17076-1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Krys**

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



---

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

.....  
V Ostravě

.....  
Bc. Jaroslav Tomáš

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

Bc. Jaroslav Tomáš

Tylova 2785/15

Ostrava-Jih

70030

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

TOMÁŠ, J.: *Realizace efektoru s přísavkami pro PR ABB IRB 140.*

Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita

Ostrava, 2010, 62 stran, Diplomová práce, vedoucí: Krys, V.

Tato diplomová práce se zabývá úpravou původního návrhu přísavkového efektoru (Chura, Z.: *Návrh efektoru(ů) pro IRB140 ABB*), včetně tvorby výkresové dokumentace, a montáží tohoto efektoru. Dále je zde řešeno napojení ejektoru na řídicí systém robotu a je specifikováno vhodné nastavení ejektoru. Součástí této práce jsou také funkční testy a příklad programování robotu s tímto efektoem prostřednictvím jednotky FlexPendant.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

TOMÁŠ, J.: *Realization of a Vacuum Effector for the ABB IRB 140 Industrial Robot.*

Ostrava: Department of Robotics - 354 VŠB - Technical University of

Ostrava, 2010, 62 pages, Master's Thesis, Head: Krys, V.

This thesis deals with modification of the original mechanical design of the vacuum effector (Chura, Z.: *The Mechanical Design of Effector(s) for IRB140 ABB*) and its assembly including design documentation. Moreover, connection between the ejector and the control system of the robot is solved. The thesis also contains functional tests and an example of programming the robot and its effector via FlexPendant unit.

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Václavu Krysovi z katedry robototechniky za odborné konzultace při zpracovávání diplomové práce a také Ing. Jánů Babjakovi za cenné rady.

## Obsah

<b>Seznam použitého značení a zkratk</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Cíl diplomové práce</b> .....	<b>11</b>
1.1 Předmět.....	11
1.2 Zadané parametry .....	11
<b>2 Úvod</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Vakuová technika a její jednotlivé části</b> .....	<b>13</b>
3.1 Příklad využití vakuových efektorů .....	14
3.2 Zdroj vakua.....	15
3.2.1 Mechanické vývěvy .....	16
3.2.2 Hybnostní (proudové) vývěvy.....	19
3.2.3 Typy obvodů s využitím vakua .....	22
3.2.4 Spotřeba energie.....	23
3.3 Typy přísavek .....	25
3.3.1 Základní typy přísavek dle tvaru a použití .....	25
3.3.2 Materiál přísavek.....	27
<b>4 Původní návrh a jeho úpravy</b> .....	<b>28</b>
<b>5 Návrh a charakteristika použitých komponent</b> .....	<b>31</b>
5.1 Objekt manipulace.....	31
5.2 Ejektor ZQ1101U – K1Y5LO – D52CL – Q .....	31
5.3 Návrh přísavek .....	33
<b>6 Montáž efektoru</b> .....	<b>35</b>
<b>7 Zapojení ejektoru</b> .....	<b>37</b>
7.1 Propojení ejektoru s řídicím systémem robotu .....	37
7.2 Zapojení pneumatického obvodu.....	42



---

<b>8</b>	<b>Testování efektoru.....</b>	<b>43</b>
8.1	Výpočet potřebné síly přísavek .....	43
8.2	Popis testů.....	45
8.3	Výsledky testu při horizontálním uchycení OM .....	46
8.4	Výsledky testu při vertikálním uchycení OM .....	48
8.5	Vyhodnocení výsledků testů .....	50
<b>9</b>	<b>Výsledné parametry robotu a efektoru .....</b>	<b>51</b>
9.1	Kontrola nosnosti robotu.....	51
9.2	Výsledné technické parametry efektoru.....	52
9.3	Bezpečnostní pokyny .....	52
<b>10</b>	<b>Programování prostřednictvím FlexPendant .....</b>	<b>54</b>
<b>11</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>60</b>
<b>13</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>62</b>

## Seznam použitého značení a zkratek

$\rho$	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
b	šířka OM	[m]
D	průměr přísavek	[mm]
f	koeficient tření	-
F <sub>g</sub>	gravitační síla	[N]
g	gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
h	výška OM	[m]
k	koeficient bezpečnosti	-
m	hmotnost OM	[kg]
n	počet přísavek	-
p	podtlak vakua	[kPa]
r	min. vyložení ramene	[m]
t	tloušťka OM	[m]
v	rychlost TCP	[m/s]
x	výška efektoru	[m]

DI	Digital Input
DO	Digital Output
OM	Objekt manipulace
PR	Průmyslový Robot
TCP	Tool Center Point

# 1 Cíl diplomové práce

## 1.1 Předmět

Realizace přísavkového efektoru na PR ABB IRB 140, včetně tvorby výkresové dokumentace, propojení ejektoru s řídicím systémem PR a jeho vhodného nastavení. Dále provedení funkčních testů efektoru včetně jejich vyhodnocení. Součástí je také příklad programování prostřednictvím jednotky FlexPendant.

## 1.2 Zadané parametry

**Robot:** ABB IRB 140

**Energie:** tlakový vzduch 5 bar

**Uchopovací člen:** přísavky

**Max. zrychlení TCP:**  $10 \text{ m/s}^2$

**Max. hmotnost předmětu:** 1 kg

**Nejméně příznivá poloha předmětu:** volný úchop, zvedací (třecí) síla je rovnoběžná s povrchem přísavky

**Stav povrchu předmětu:** hladký, rovný (např. sklo, kov, plast)

**Mastné povrchy:** ne

**Mokré povrchy:** ne

**Práce v prostředí s vysokou prašností:** ne

**Požadována zvláštní odolnost proti chemikáliím, jiným vlivům prostředí:** ne

**Pracovní teplota:** 10 – 50 °C

**Vyrovnání úhlů:** ne

**Integrovaný vzduchový filtr:** ano

**Tlumič hluku:** ne

**Evakuační čas:** do 500 ms

**Zajištění bezpečnosti při manipulaci s předměty:** ano (zohlednit použití efektoru při výuce)

**Specifikace předmětů, se kterými lze bezpečně manipulovat:** ano

## 2 Úvod

V posledních desetiletích se robotika postupně stala nenahraditelnou součástí většiny odvětví. Především pozice průmyslových robotů je v dnešní době již téměř nezastupitelná. Užívají se ke svařování, montáži, manipulaci atd. A je to především efektor, který rozhoduje o funkci průmyslového robotu.

Tato práce se zabývá úpravou původního návrhu přísavkového efektoru (Chura, Z.: *Návrh efektoru(ů) pro IRB140 ABB*), včetně tvorby výkresové dokumentace pro výrobu, a jeho montáže. Tento efektor je navrhován pro manipulaci s objektem manipulace o minimálních rozměrech 190x190 mm a maximální hmotnosti 1 kg (např. plexisklo, tabule plechu či skla). Dále je součástí práce také propojení kompaktního ejektoru s vakuovým spínačem od firmy SMC s řídicím systémem robotu (IRC5) a jeho vhodné nastavení. Nedílnou součástí je také provedení funkčních testů tohoto efektoru s jejich vyhodnocením. Dále je zahrnut příklad programování prostřednictvím jednotky FlexPendant.

### 3 Vakuová technika a její jednotlivé části

Vakuová zařízení jsou v současné době využívána v celé řadě technologických aplikací, v mnoha průmyslových odvětvích (např. v potravinářském či automobilovém) i při výzkumu. Zdroje vakua jsou naprosto nezbytné například při nanášení či napařování tenkých vrstev na nejrůznější substráty (polovodiče, reflexní vrstvy na sklo, výroba speciálních zrcadel, tvorba vysoce odolných vrstev na řezné nástroje, pokovování plastů, aj.). Při výrobě a výzkumu nových materiálů s komerčně zajímavými vlastnostmi, pro odstranění materiálového pnutí po tvářecích procesech, pro kapilární pájení nebo odplynění povrchu materiálů jsou používány vakuové pece. Zcela běžně jsou v provozech zavedeny vakuové destilace nebo filtrace a stejně tak se moderní strojírenské provozy neobejdou bez automatických montážních linek, kde jsou jako uchopovací prvky využívány podtlakové přísavky. [7]

Efektor, ať už průmyslového či servisního robotu, je jeho výkonným subsystémem. Tato část robotu, v jakémkoliv provedení, je vždy centrem pozornosti konstruktérů technických systémů. Vlastnosti technických systémů se totiž mohou uplatnit (nebo znehodnotit) právě jen prostřednictvím efektoru. Úchopnými prvky efektorů jsou většinou přísavky (pasivní i aktivní) ale také speciálně konstruované prvky (např. vlnovec či přetlakové pouzdro). Výhodou těchto efektorů je dostupnost tlakového vzduchu rozváděného potrubím ve výrobních prostorech. Přísavky a příslušenství potřebné k návrhu pneumatického efektoru patří k sortimentu většiny firem zabývajících se pneumatickými komponenty. [4]

Pasivní přísavky vytváří podtlak pohybem ramen robotu, kdy se přitlačením k objektu manipulace deformuje elastická manžeta a vytlačí vzduch z prostoru, který pokrývá. Zpětným pohybem se přísavka vlivem vlastní pružnosti vrací do mezipolohy se zvětšeným vnitřním prostorem, přičemž vznikne podtlakový přísavný efekt. Problémem bývá znečištění nebo nerovný povrch předmětu. K tomu existují různé konstrukční úpravy přísavek, které umožní udržet podtlak po dobu manipulace. Spolehlivějším řešením je však přechod k aktivním přísavkám. Aktivní přísavky využívají pro navození podtlakového přísavného efektu vlastní zdroj podtlaku –

běžně ejektory, zatímco mechanické vývěvy jen výjimečně. Tato práce se dále zaměřuje již pouze na aktivní přísavky. [10]

Ejektor je jednoduché zařízení využívající průchodu stlačeného vzduchu dýzou, čímž je v nejužším místě vyvolán podtlak a toto místo je propojené s prostorem pod manžetou. [4]

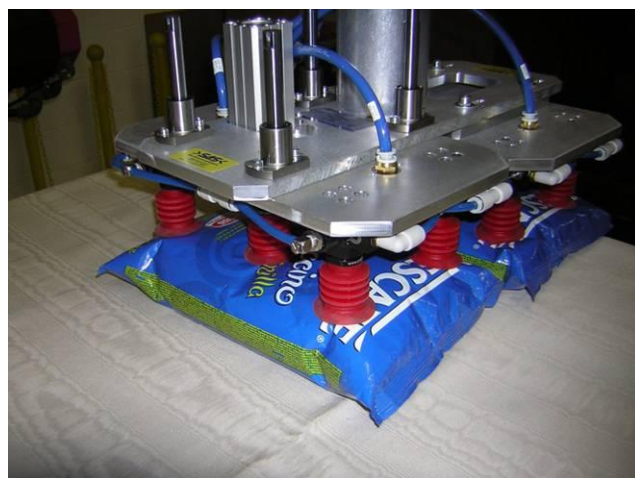
Vývěva je zařízení, které odčerpává vzduch či jiné plyny z uzavřeného prostoru a vytváří tak částečné vakuum. Vývěva je vlastně plynové čerpadlo, proto podobně jako u čerpadel existuje řada různých konstrukčních řešení vývěv. Vývěvy můžeme dělit jednak podle fyzikálního principu činnosti, jednak podle míry vakua, kterého mohou dosáhnout. [13]

### **3.1 Příklad využití vakuových efektorů**

Princip vyvození uchopovací síly je odvozený od fyzikálního principu vyvození podtlaku. Uchopovacím prvkem je přísavka, elastická manžeta, která má většinou talířový tvar. [11]



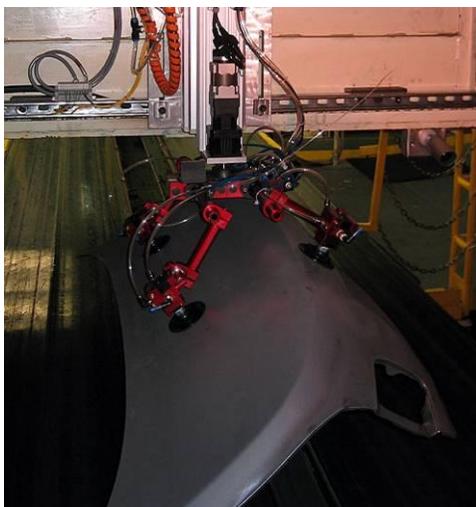
*Obr. 1 Manipulace s disky CD a DVD*



*Obr. 2 Manipulace s OM ve fólii*

Podtlakové uchopovací efektorů vhodně doplňují tradiční sortiment mechanických uchopovacích efektorů. Svými vlastnostmi a funkčními možnostmi výrazně rozšířily aplikace automatického uchopování i na netradiční objekty (neželezný materiál, tvarová složitost, křehkost, malá vlastní tuhost, atd.). Konstrukční řešení efektorů je charakteristické svou jednoduchostí, nízkými realizačními i provozními náklady a také vysokou provozní spolehlivostí. Současné poznatky z vývoje automatizace a robotizace naznačují, že do vývoje efektorů se vnesl znak výrobní

samostatnosti. Efektory se stávají uceleným doplňkovým výrobním programem. [11]



*Obr. 3 Manipulace s výliskem*

Účelem efektoru robotu je vlastní realizace úkolů, pro které je robot určen, tj. manipulace různými objekty se zadanými parametry polohy, orientace, vzdálenosti, rychlosti, zrychlení, aj. Vakuové efektory mají v dnešní době širokou škálu uplatnění v mnoha odvětvích (potravinářství, automobilový průmysl atd.). Používají se pro objekty manipulace o hmotnostech od jednotek gramů po stovky kilogramů a pro nejrůznější aplikace, od nejjednodušších, jako je uchycení předmětu v dané poloze, až po nejsložitější, kde slouží k manipulaci s objekty nejrůznějších tvarů a materiálů. [4]

### **3.2 Zdroj vakua**

Podle normy DIN 28400 je vakuum definováno následovně: „Vakuum je stav plynu, který má menší hustotu než atmosféra na zemském povrchu. Jako vakuum tedy můžeme označit stav plynu, jehož tlak je nižší, než je tlak atmosférický“. [7]

Velikost podtlaku – vakua, používaného při manipulaci s díly, se většinou vyjadřuje v jednotkách kilopascal, milibar nebo procenta vakua. V tab. 1 je srovnání nejdůležitějších používaných jednotek vztažených buď k normálnímu atmosférickému tlaku vzduchu (101,3 kPa), nebo k absolutnímu vakuu. [7]

normální atmosférický tlak	vakuum	kPa	mbar	Torr (mmHg)	Torr (mmHg)
	0%	0	0	0	760
	10%	- 10,1	- 101	- 76	684
	20%	- 20,3	- 203	- 152	608
	30%	- 30,4	- 304	- 228	532
	40%	- 40,5	- 405	- 304	456
	50%	- 50,7	- 507	- 380	380
	60%	- 60,8	- 608	- 456	304
	70%	- 70,9	- 709	- 532	228
	80%	- 81,1	- 811	- 608	152
	90%	- 91,2	- 912	- 684	76
absolutní vakuum	100%	- 101,3	- 1013	- 760	0

Tab. 1 Přepočet nejčastěji používaných jednotek

Vývěvy lze rozlišit podle způsobu, jakým dosahují snížení tlaku, na vývěvy transportní a adsorpční. Transportní vývěvy odčerpávají z evakuovaného prostoru molekuly plynu, které procházejí vývěvou, zatímco vývěvy adsorpční tyto molekuly zachycují uvnitř vývěvy. Už jen z tohoto základního rozdělení je patrné, že vývěvy transportní mohou pracovat kontinuálně narozdíl od vývěv adsorpčních, které obvykle pracují v cyklech. Transportní vývěvy se dále dělí na mechanické a hybnostní. Mechanické vývěvy dosahují snižování tlaku cyklickou změnou objemu ve vývěvě, hybnostní vývěvy předávají molekulám čerpaného plynu rychlostní impuls ve směru čerpání plynu. Tato práce se pak zaměřuje na transportní vývěvy. [7]

### 3.2.1 Mechanické vývěvy

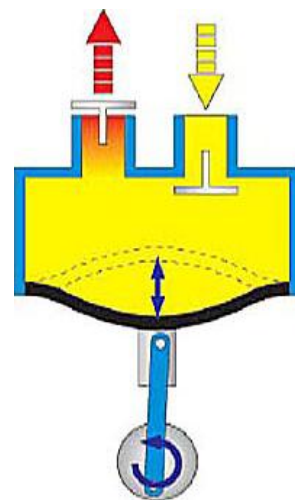
Mechanické vývěvy jsou ve většině případů poháněny elektromotory a pracují na stejném funkčním principu jako kompresory. Prostor, ve kterém chceme získat podtlak, je připojen na stranu sání vývěvy. Určitý objem vzduchu je z tohoto prostoru odsáván a na straně výfuku vývěvy vypouštěn do atmosféry. Tlak vzduchu se v daném prostoru sníží pod hodnotu atmosférického tlaku a označujeme jej jako vakuum. [7]



### Vývěvy pístové

Mechanická pístová vývěva pracuje na principu cyklického zvětšování objemu pohybem pístu v těsném válci (Sprenglerova vývěva). Píst může být tvořen i rtuťovým sloupcem jako například ve vývěvě Toeplerově. Pístové vývěvy s touto konstrukcí mají malou účinnost pro svůj relativně velký mrtvý (nevyčerpatelný) objem a v současnosti se téměř nepoužívají. [7]

Moderní variantou pístové vývěvy je vývěva membránová, která je dosti rozšířená v laboratořích a provozech, kde je třeba dosahovat nízkého vakua, řádově 102 Pa. Mezní tlak je limitován tlakem, při kterém ještě dojde k otevření vstupního ventilu do vývěvy. Často bývají tyto vývěvy používány jako jednotky pro vytvoření předvakua v hybridních vakuových jednotkách (např. spojení membránové a Rootsovy vývěvy). V případě že je jako píst použita membrána z chemicky inertního materiálu (Teflon), jsou tyto vývěvy vhodné i pro čerpání agresivních či korozivních plynů. Schéma membránové vývěvy je znázorněno na obrázku 4. Tyto vývěvy mohou být zapojovány sériově (pro dosažení nižšího mezního tlaku) či paralelně (pro zvýšení čerpací rychlosti). Nevýhodou je časté opotřebení vstupních a výstupních ventilů vývěvy, jejichž kvalita provedení a těsnost jsou pro funkci vývěvy zcela klíčové. Výhodou je relativně nízká cena zařízení. [7]

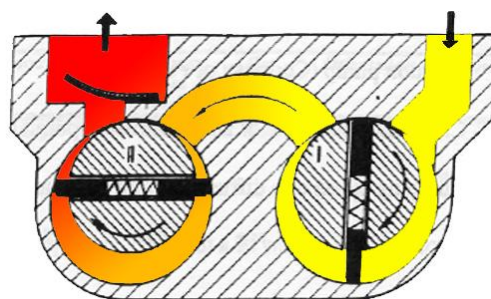


Obr. 4 Membránová vývěva

### Vývěvy rotační

V laboratorní i technologické praxi jsou nejpoužívanější rotační olejové vývěvy. Ty pracují na základě excentricky uloženého rotoru s lopatkami. Olej zde hraje úlohu těsnící, slouží jako mazivo a do jisté míry i zajišťuje přenos tepla uvolňovaného při stlačování plynu. Ve vývěvě dochází ke kompresi čerpaného plynu, což může mít za následek rozpouštění některých odčerpávaných látek (např. vodní páry) v oleji a jejich případný návrat do čerpaného systému. Kde je toto nežádoucí, používá se vývěv s proplachováním (tzv. gasballast), ovšem za cenu snížení účinnosti – mezního tlaku. Mezní tlak běžných olejových rotačních vývěv se pohybuje

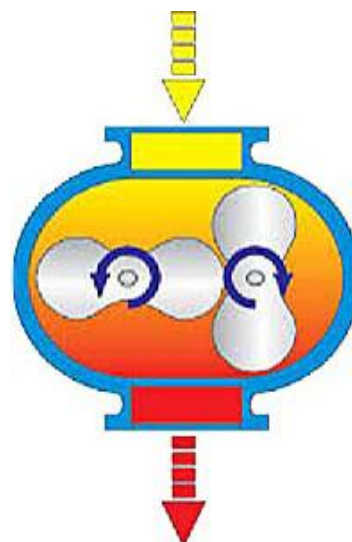
v rozmezí 3 až 0,02 Pa (150 – 1 Pa u vývěv s proplachováním), maximální čerpací rychlost je v rozmezí jednotek až stovek litrů plynu za sekundu. Pro dosažení větší čerpací účinnosti bývají vývěvy spojeny paralelně či sériově. Některé rotační vývěvy jsou konstruovány jako dvojstupňové, což v podstatě představuje dvě vývěvy vzájemně sériově propojené a konstrukčně uspořádané v jednom bloku na společné hřídeli. Účinnost olejové vývěvy ovlivňuje především kvalita použitého oleje, resp. tlak jeho nasycených par. Velkou nevýhodou olejových vývěv je možnost vniknutí oleje do čerpaného prostoru. Tyto nedostatky řeší rtuťové nebo suché vývěvy. Při použití těchto vývěv v laboratoři i v technologickém provozu je třeba zamezit vniknutí organických či korozivních látek do vývěvy, protože v takovém případě obvykle dochází k jejímu zadření, případně úplnému zničení. Stejně tak může nastat situace, kdy se páry oleje z vývěvy při nízkých tlacích dostávají do evakuovaného prostoru. Proto obvykle bývají pro laboratorní použití mezi vývěvu a evakuovaný prostor zařazeny tzv. vymrazovací prsty, kde dochází ke kondenzaci a zachycení par z vývěvy i z evakuovaného prostoru. Rotační olejové vývěvy musí vždy být uloženy tak, aby z nich nemohl vytékat pracovní olej. [7]



Obr. 5 Schéma dvoustupňové olejové vývěvy

### Rootsova vývěva

Rootsovy vývěvy pracují na principu dmychadel nebo zubových čerpadel. Dva precizně vycentrované rotory s minimálními mezerami mezi sebou se otáčejí rychlostí několik tisíc otáček za minutu a přečerpávají plyn ze systému. Tyto velmi robustní vývěvy (nezřídka o váze i několika tun, často používané jako součást vzduchotechniky) vyžadují



Obr. 6 Schéma Rootsovy vývěvy

předvakuum (několik stovek Pa) a chlazení, mnohdy i odhlučnění. Jejich předností je velmi vysoká čerpací rychlost (až desítky tisíc l/min). Rotory mohou mít i tvar šroubovic či závitnic a stejně jako v předchozích případech mohou být tato zařízení sériově či paralelně zapojována. Protože tyto vývěvy neobsahují mazací oleje, mohou být uloženy jakýmkoliv způsobem. [7]

### 3.2.2 Hybnostní (proudové) vývěvy

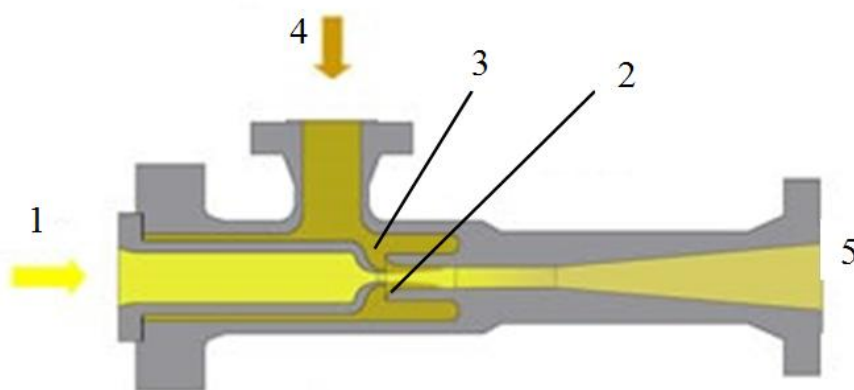
Alternativním řešením k mechanickým vývěvám jsou proudové vývěvy – ejektory. Pracují na principu Venturiho trubice. Jako zdroj primární energie slouží stlačený vzduch přivedený do trysky ejektoru. Podle počtu Venturiho trubic dělíme ejektory na jednostupňové a vícestupňové. Při tlaku vzduchu 0,5 MPa v trysce ejektoru lze dosáhnout vakua až – 88 kPa. [8]

Přednosti ejektorů proti mechanickým vývěvám jsou:

- pracují bez opotřebení, nepotřebují údržbu
- jednoduchá montáž a pracovní poloha
- při provozu se nezahřívají
- úspora energie (spotřeba energie jen při aktivaci)
- kompaktní rozměry a nízká hmotnost
- lze použít i do výbušného prostředí
- přísavku lze spojit přímo s ejektorem
- vakuum lze regulovat tlakem vzduchu, přiváděného do trysky ejektoru

#### Jdnostupňový ejektor (viz obr. 7)

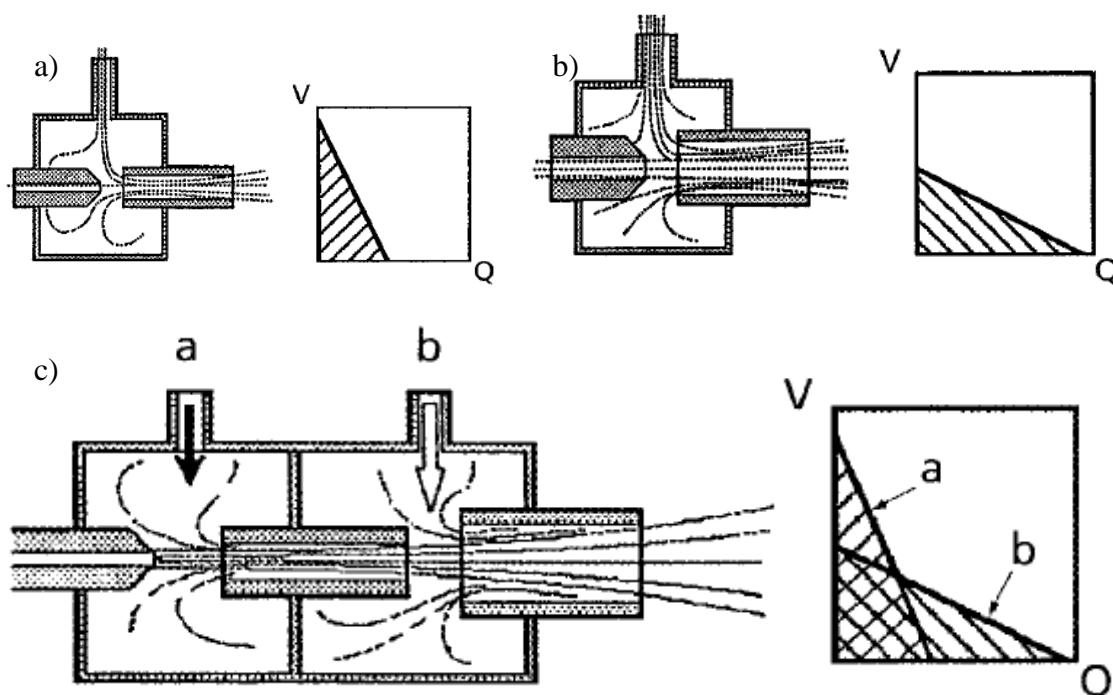
Stlačený vzduch je přiveden do vstupního hrdla ejektoru (1). V zúženém průřezu trysky (2) se zvýší rychlost proudu vzduchu, který na výstupu z trysky strhává částice vzduchu v prostoru (3) a unáší je s sebou. V prostoru (3) se sníží tlak a hrdlem (4) je do komory (3) přísáván vzduch. Proud vzduchu z trysky (1) spolu s přísátým vzduchem z hrdla (4) odchází hrdlem ejektoru (5) přímo nebo vestavěným tlumičem hluku do atmosféry. [8]



Obr. 7 Jednostupňový ejektor

### Vícestupňový ejektor

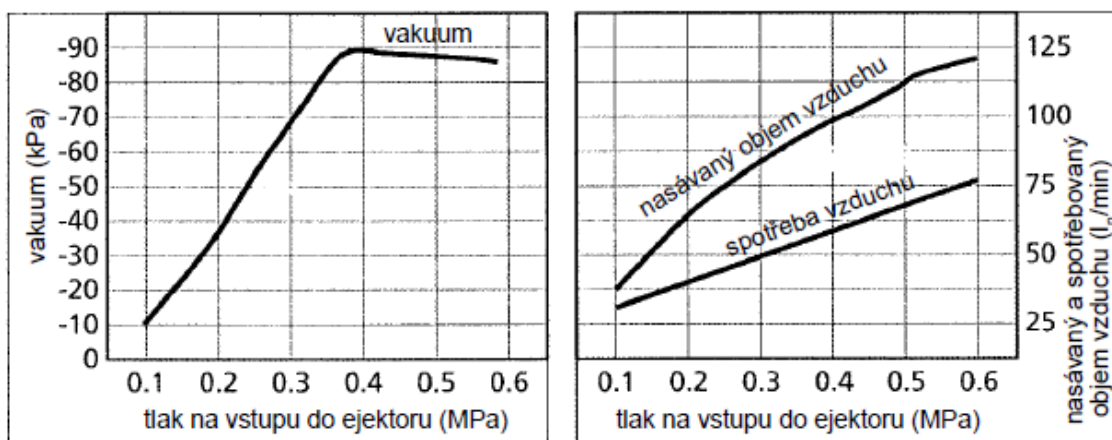
Vícestupňové ejektory mají dvě nebo tři Venturiho trubice řazené za sebou. Každá z těchto Venturiho trubic má svůj specifický účel. Ejektor v uspořádání podle obr. 8a vyvine velký podtlak – vakuum ( $V$ ), ale nasaje malý objem vzduchu ( $Q$ ). Ejektor v uspořádání podle obr. 8b nasaje velký objem vzduchu ( $Q$ ), ale vyvine malý podtlak – vakuum ( $V$ ). U dvoustupňového ejektoru na obr. 8c jsou využity vlastnosti obou předcházejících ejektorů a objem nasávaného vzduchu se zvýšil o 40 %. U třístupňových ejektorů se objem nasávaného vzduchu zvýší až o 250 %. Přísavka rychle a spolehlivě přilne k podložce a dosáhne se velké síly. [8]



Obr. 8 Vícestupňový ejektor

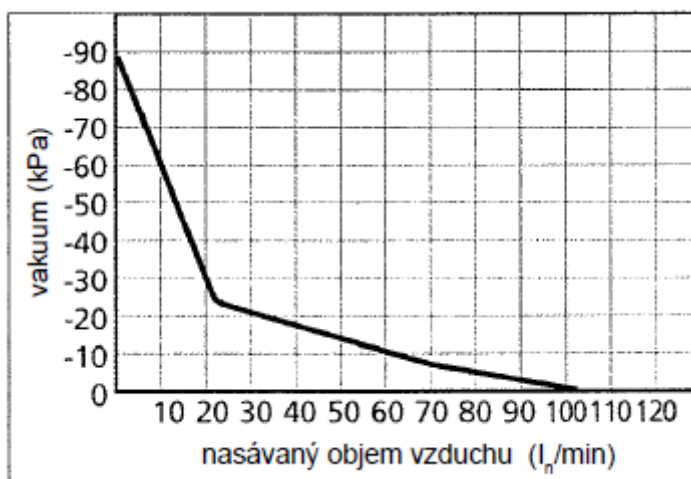
V technické dokumentaci jsou základní parametry ejektorů, tj. vztahy mezi dosažitelným vakuem, tlakem vzduchu v trysce a objemem nasávaného vzduchu vyjádřeny diagramy. Ejektor, jehož parametry jsou uvedeny v diagramech na obr. 9, pracuje s tlakem vzduchu v trysce od 0,2 až do 0,6 MPa a optimální provozní tlak odpovídá 0,4 MPa. [8]

Tlakem vzduchu v trysce ejektoru můžeme ovládat hodnotu dosažitelného vakua. Bude-li tlak vzduchu vyšší než 0,6 MPa, dojde k odtržení vzduchového proudu, ejektor přestane nasávat vzduch a tím přestane vytvářet vakuum. [8]



Obr. 9 Typické charakteristiky parametrů vícestupňového ejektoru s průměrem trysky 1,2 mm

Na obr. 10 je znázorněna závislost dosaženého vakua na nasávaném objemu vzduchu vícestupňového ejektoru. Zvětší-li se objem nasávaného vzduchu (např. netěsností přísavky nebo při manipulaci s předměty z porézních materiálů), klesne současně hodnota dosaženého vakua. [8]



Obr. 10 Typická charakteristika vícestupňového ejektoru při stálém tlaku vzduchu  $p=0,4$  MPa

### 3.2.3 Typy obvodů s využitím vakua

Použití stlačeného vzduchu a vakua v průmyslu se zásadně liší ve dvou bodech:

- v opačném směru proudění
- v omezeném rozsahu použitelného rozdílu tlaků

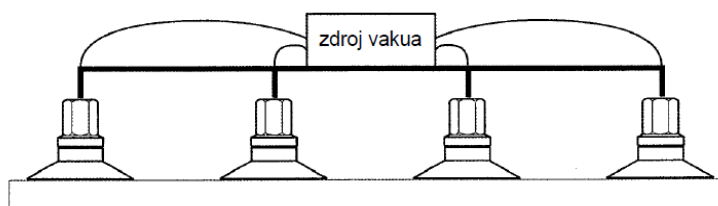
Souvislosti mezi tlakem, prouděním (objemem) a silou, tak jak je známe z aplikací stlačeného vzduchu, platí také pro vakuum. Zvláštní pozornost je třeba věnovat:

- odporům proudění (např. délkám hadic apod.)
- odsávaným objemům (např. objemům hadic apod.)

Při aplikaci vakua pracujeme s omezeným rozsahem tlaků (0 až cca -100 kPa). To vyžaduje pro minimalizaci odporů při proudění používat větší průřezy – průměry vedení (hadic, trubek). Na druhé straně je třeba pracovat jen s nejnutnějšími pracovními objemy, protože mají vliv na čas a na spotřebu energie pro dosažení potřebné hladiny vakua. Musí-li se pro manipulaci s předmětem použít několika přísavek, pak je třeba provést zásadní rozhodnutí a zvolit jedno ze dvou možných řešení zdroje vakua:

#### Společný zdroj vakua

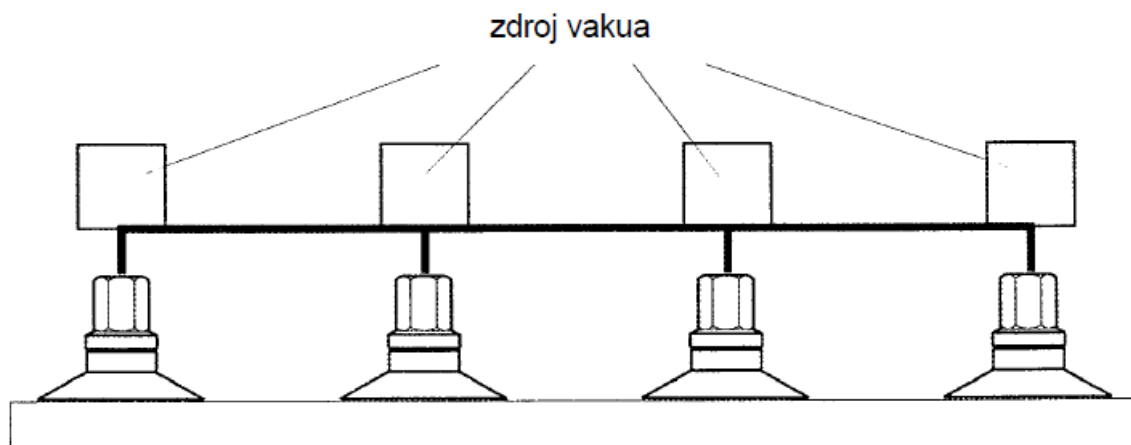
Nejlepšího využití energie se dosáhne připojením všech použitých přísavek na jeden společný zdroj vakua. Čas pro dosažení potřebné hladiny vakua je delší, proto není toto řešení vhodné pro zařízení s rychle se opakujícími pracovními cykly. Pokud jedna z přísavek částečně netěsní, nedosáhne se potřebné hladiny vakua a tím i síly, a buď předmět nezvedneme nebo se může při manipulaci uvolnit a poškodit. Tuto nevýhodu lze odstranit použitím samostatných zdrojů vakua, hlídáním hladiny vakua každé z přísavek nebo použitím přísavek s vestavěným zpětným ventilem. [8]



Obr. 11 Společný zdroj vakua

### Samostatný zdroj vakua

Každá z použitých přísavek má samostatný zdroj vakua – ejektor. Všechny použité ejektory jsou napájeny ze společného přívodu stlačeného vzduchu. Výhodou tohoto řešení je krátký čas nutný pro dosažení potřebné hladiny vakua a minimální ztráty vakua v rozvodu. Při dostatečné rezervě je zaručena síla pro upnutí předmětu i při částečné netěsnosti jedné z přísavek. [8]

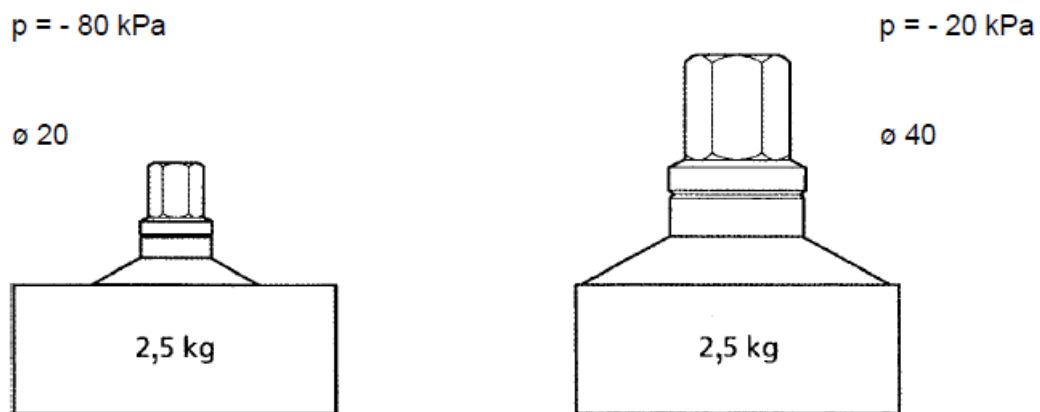


Obr. 12 Samostatné zdroje vakua

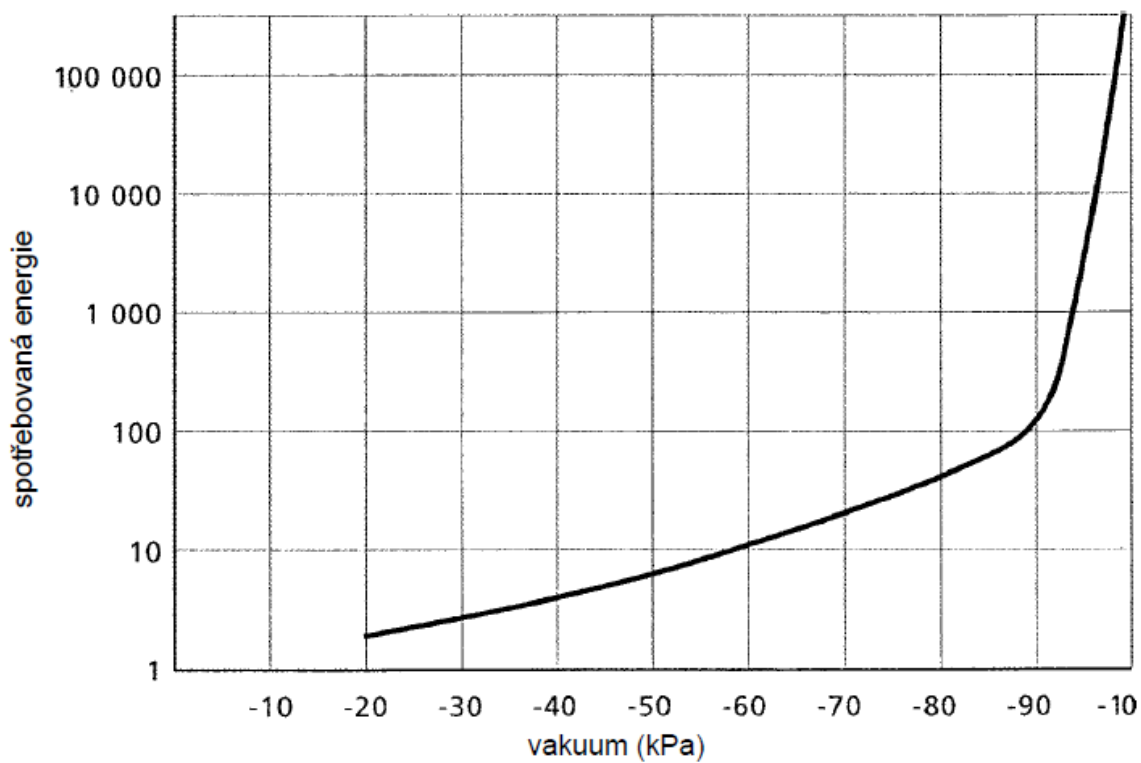
### **3.2.4 Spotřeba energie**

Spotřeba energie zdroje vakua roste exponenciálně k velikosti vakua. Zvýšíme-li hodnotu vakua z -60 kPa na hodnotu -90 kPa, zvýšíme 1,5 krát sílu přísavky. Současně ale stoupne 10krát spotřeba energie, zvýší se opotřebení přísavky a tím se zkrátí její životnost. Proto je výhodnější používat v praxi větší rozměry přísavek a nižší hodnoty vakua, než malé rozměry přísavek a vyšší hodnoty vakua. [8]





Obr. 13 Porovnání hodnot vakua při použití přísavky malého a velkého průměru při stejné hmotnosti předmětu



Obr. 14 Vztah mezi spotřebou energie a velikostí vakua



### 3.3 Typy přísavek

Přísavky používané pro uchopení předmětů při manipulaci mají různé tvary, rozměry a jsou zhotoveny z různých materiálů.

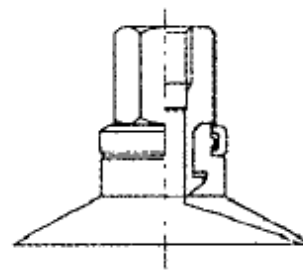


Obr. 15 Příklady přísavek různých tvarů

#### 3.3.1 Základní typy přísavek dle tvaru a použití

##### Plochá přísavka

Plochá přísavka je vhodná pro uchopení předmětů z pevného materiálu s hladkou a rovnou plochou.

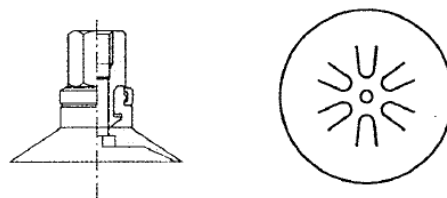


Obr. 16 Plochá přísavka

### Plochá přísavka s opěrnými žebry

Doporučuje se pro uchopení předmětů z poddajných materiálů (papír, různé fólie), které by se mohly vakuem v ploché přísavce deformovat.

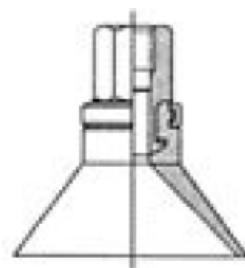
Použití ploché přísavky s opěrnými žebry se doporučuje také v případech, kdy síla působí kolmo na osu přísavky (rovnoběžně s plochou přísavky). Opěrná žebra uvnitř přísavky jsou tuhá a zvětšují plochu potřebnou k přenosu síly třením mezi přísavkou a předmětem.



*Obr. 17 Plochá přísavka s opěrnými žebry*

### Hluboká přísavka

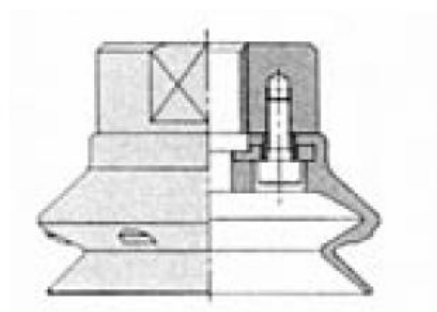
Hluboká přísavka je vhodná pro uchopení předmětů se zaoblenými plochami (kulovými), kde jiné typy přísavek by nedokázaly dokonale přilnout k povrchu.



*Obr. 18 Hluboká přísavka*

### Přísavka s měchem

Přísavky s měchem se přizpůsobí různým nerovnostem nebo menším výškovým rozdílům povrchu manipulovaného předmětu. Po dosažení potřebného vakua předmět mírně nadzvednou. Tento axiální zdvih do určité míry nahrazuje uchycení přísavky pomocí odpruženého držáku. Nehodí se pro ukládání předmětů do přesně určené polohy, protože mají malou boční tuhost.



*Obr. 19 Přísavka s měchem*

### 3.3.2 Materiál přísavek

Často se pro přísavky používá perbunan (NBR – nitrilbutadienový kaučuk). Je cenově výhodný a vyhovuje většině požadavků. Přísavky z polyuretanu (PU) mají stejné vlastnosti jako přísavky z NBR a mají větší odolnost proti opotřebení. Poloprůhledný, mléčně zabarvený materiál je silikonový kaučuk (SI). Často se používá v potravinářském průmyslu a při manipulaci s díly s velmi náročným povrchem, např. s kompaktními disky. Viton (FPM) představuje materiál odolný teplotám a olejům. Pro použití ve výrobě elektronických součástek jsou k dispozici přísavky z elektricky vodivých materiálů. Ty umožňují manipulaci s citlivými elektronickými součástkami, aniž by na ně přenášely náboj statické elektřiny. [8]

**Vlastnosti materiálu přísavek**

☉: malý nebo žádný vliv    ○: lze použít    x: nelze použít

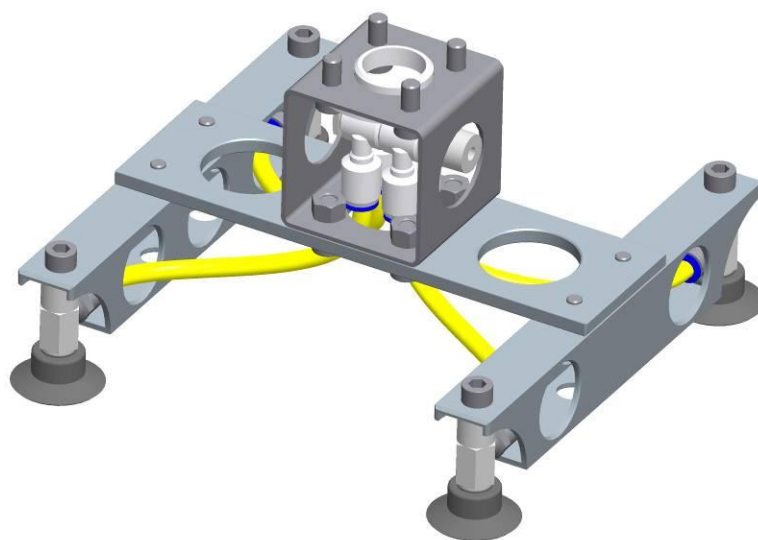
Vlastnost Materiál	Tvrdost Shore HS (±5°)	Rozsah provoz- ních teplot (°C)	Odolnost vůči olejům (benzín)	Odolnost vůči olejům (benzol)	Odolnost vůči zásadám	Odolnost vůči kyselinám	Odolnost vůči klimatu	Odolnost vůči ozonu	Otěru- vzdornost	Odolnost vůči vodě	Odolnost vůči redukcím (benzen/toluen)
NBR	50°	0 až 120	☉	x	○	○	○	x	☉	○	x
silikon	40°	-30 až 200	x	x	○	x	☉	☉	x	○	x
uretan	60°	0 až 60	☉	x	x	x	○	☉	☉	x	x
viton	60°	0 až 250	☉	☉	x	☉	☉	☉	○	☉	☉
vodivý NBR	50°	0 až 100	○	x	○	x	○	x	○	○	x
vodivý silikon	50°	-10 až 200	x	x	○	x	☉	☉	x	○	x

Tab. 2 Přehled materiálů přísavek a jejich vlastností

## 4 Původní návrh a jeho úpravy

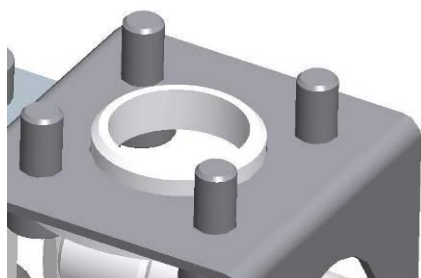
Původní návrh byl předmětem loňské diplomové práce „Návrh efektoru(ů) pro IRB140 ABB“ Ing. Zdeňka Chury. Jeho návrh efektoru s využitím vakuové techniky poskytl základ pro mou diplomovou práci, v níž se zabývám několika úpravami jeho návrhu, které přispívají ke zlepšení vlastností efektoru.

V původním návrhu byly využity komponenty firmy Festo, nyní jsou použity vakuové komponenty od firmy SMC ve srovnatelné kvalitě. Firma SMC nabídla nižší cenu při zvýšení nároků jak u přísavek, tak u efektoru.

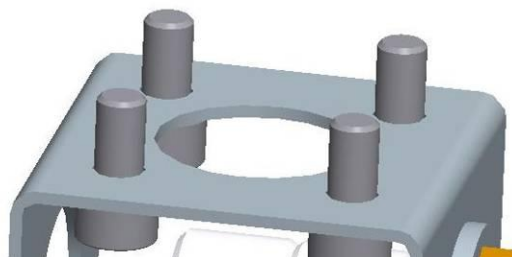


*Obr. 20 Model původního návrhu*

Jako první úprava je provedeno odstranění středící příruby. Tato příruba, jak již z jejího názvu vyplývá, byla navržena z důvodu vystředění efektoru na interfacu robotu. K tomuto účelu však plně dostačují šrouby, které efektor drží, a které jsou umístěny souose se závity v interfacu robotu. Její odstranění rovněž snižuje výrobní náklady.

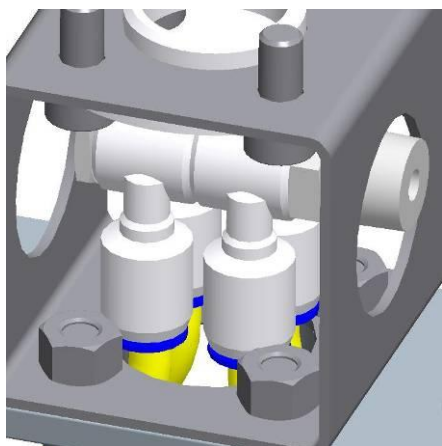


*Obr. 21 Původní návrh s přírubou*

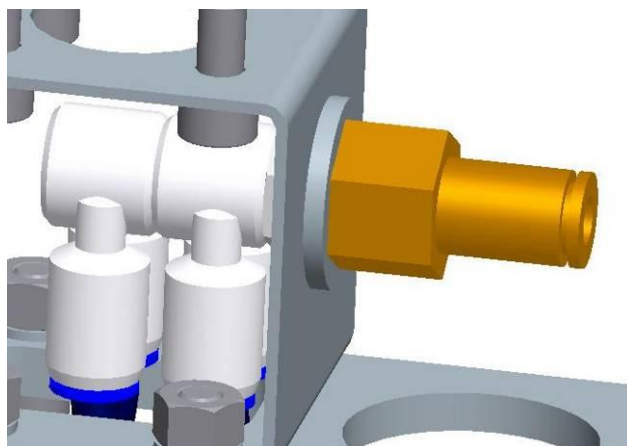


*Obr. 22 Nový návrh bez příruby*

Další úpravou je uchycení rozvaděče na místo jeho zavěšení na hadicích (obr. 23). Při původním řešení tohoto problému mohlo docházet k vibracím rozvaděče a s ním i k pohybu hadic, které by se následně prodřely a způsobily tak uvolnění OM. Do profilu 50x1,5 je nyní vyvrtán menší otvor než u původního návrhu, o který se rozvaděč opře a z druhé strany je uchycen pomocí nástrčné spojky. Mezi tyto členy je vložena podložka nahrazující distanční člen. Současně dochází také ke zvětšení otvoru pro hadice na výstupu z rozvaděče.

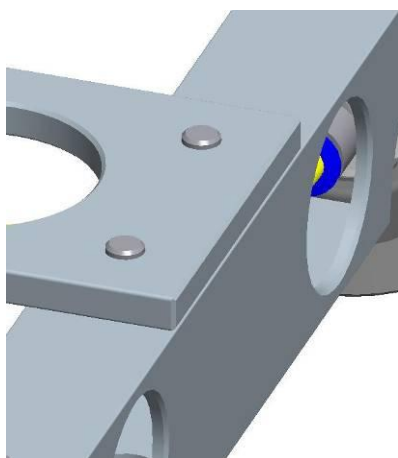


*Obr. 23 Rozvaděč bez uchycení*

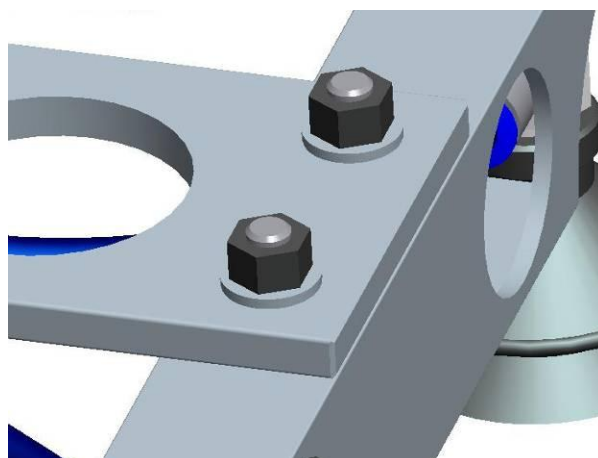


*Obr. 24 Pevné uchycení rozvaděče*

Jako třetí bod následuje úprava šroubového spojení mezi profilem 30x20 a profilem 50x5, kde v původním návrhu (obr. 25) byl zvolen závit v hliníkovém profilu 50x5. Ten byl nahrazen průchozí dírou a spoj byl doplněn matkou (obr. 26). Tato úprava je provedena z důvodu omezení poškození dílu při montáži popř. při provozu, kdy by mohlo dojít k otlačení nebo stržení závitu v profilu a následnému uvolnění spoje.

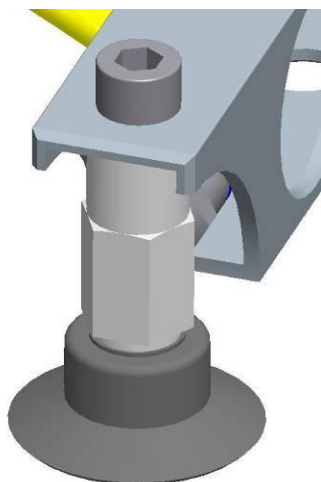


*Obr. 25 Uchycení pomocí závitu v hliníku*

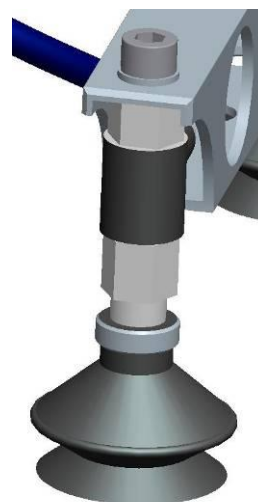


*Obr. 26 Uchycení pomocí průchozí díry a matky*

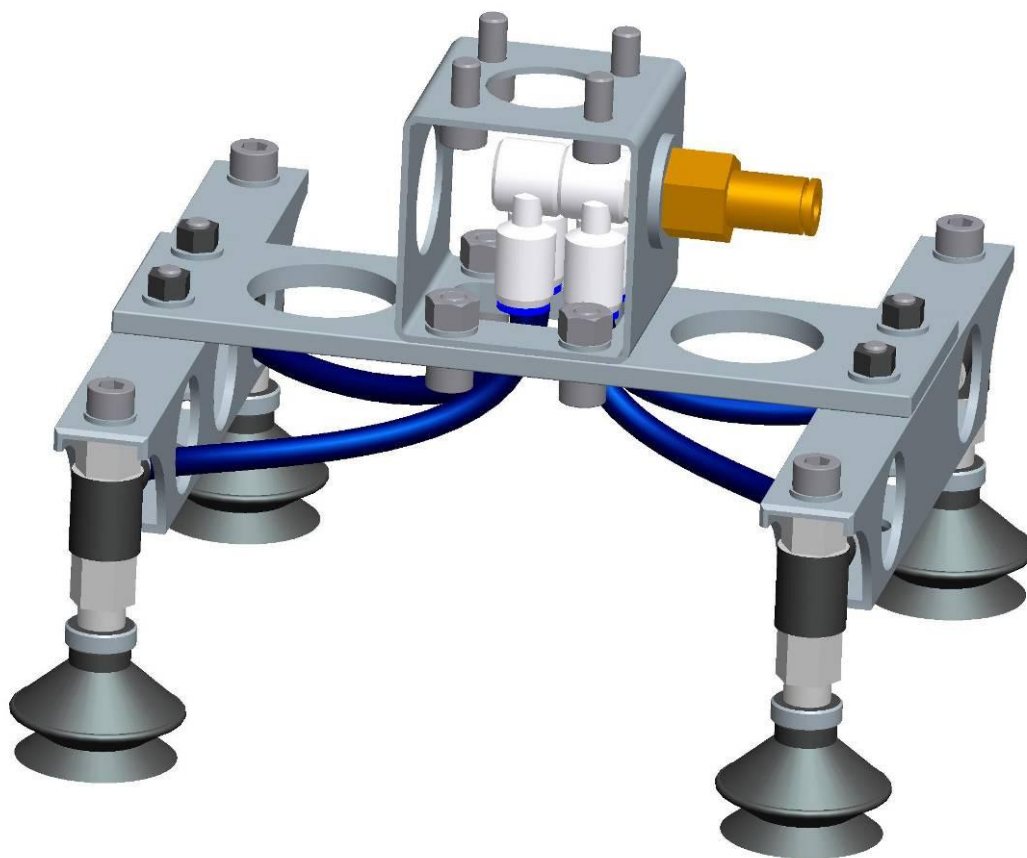
Poslední změnou v konstrukci je nahrazení původní ploché přísavky (obr. 27) přísavkou s měchem (obr. 28). Tato úprava byla zvolena z důvodu tolerování menších odchylek polohy efektoru oproti ploše OM.



*Obr. 27 Využití ploché přísavky*



*Obr. 28 Využití přísavky s měchem*



*Obr. 29 Stávající model efektoru*

## 5 Návrh a charakteristika použitých komponent

### 5.1 Objekt manipulace

Jako objekt manipulace byla vybrána deska z plexiskla rozměru 400x400 mm a tloušťky 5 mm. Tato deska je neporézní, rovná a čistá. Hmotnost desky je:

$$m = b \cdot h \cdot t \cdot \rho \quad (1)$$

$$m = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,005 \cdot 1190$$

$$\underline{\underline{m = 0,952 \text{ kg}}}$$

b šířka OM [m]

h výška OM [m]

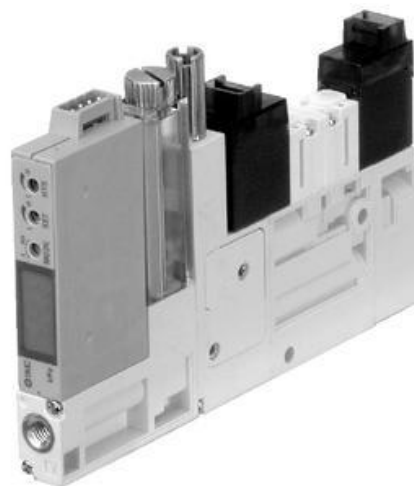
t tloušťka OM [m]

$\rho$  hustota plexiskla [ $\text{kg/m}^3$ ]

Hmotnost desky tedy přibližně odpovídá maximální zátěži efektoru (1 kg).

### 5.2 Ejektor ZQ1101U – K1Y5LO – D52CL – Q

Tento ejektor byl zvolen s ohledem na kompaktní rozměry a nízkou hmotnost, čímž jen nepatrně zatěžuje rameno robotu. Dále je jeho výhodou zpětná vazba, která je realizována prostřednictvím dvou nastavitelných hodnot podtlaku, při jejichž dosažení dostává řídicí systém robotu informaci o změně stavu z logické 0 na 1. Této funkce je využíváno u vakuového efektoru ke kontrole nutného minimálního podtlaku pro pevné uchopení OM. V případě manipulace s měkkými či křehkými materiály je nasnadě využít této funkce také k hlídání maximální úrovně vakua, kdy ještě nedochází k poruše OM.



Obr. 30 Použitý ejektor



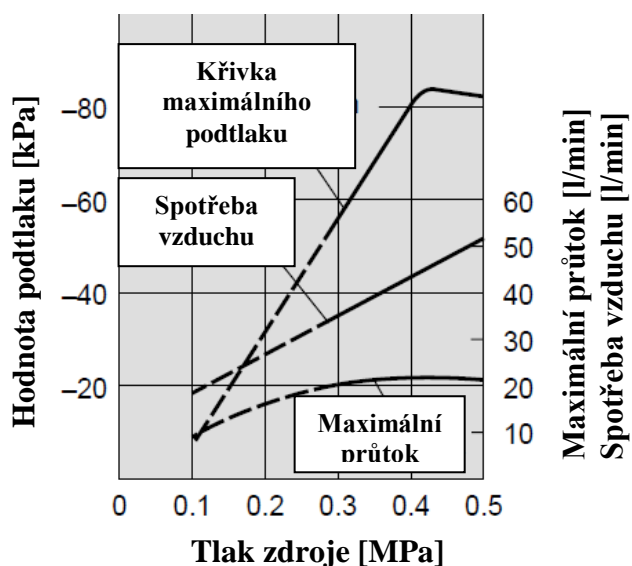
Vysvětlivky označení ejektoru:

- ZQ1 označení ejektoru – modulární jednostupňový  
 10 jmenovitý průměr trysky  $\varnothing 1,0$  mm  
 1U s tlumičem pro samostatnou jednotku  
 K1 kombinace elektromagnetických ventilů:  
     přívodní ventil – vypínací kontakt  
     podtlakový ventil – vypínací kontakt  
 Y řídicí ventil – úsporný typ (0,5W)  
 5 napájecí napětí elektromagnetických ventilů 24 V DC  
 LO Vstup ovládání ventilů – konektor typu L, bez kabelů  
 D52 tlakový spínač vakua – 2 PNP výstupy, rozsah podtlaku -100 až 0 kPa  
 CL vstup vakuového spínače – zástrčka a konektor s 3 m kabelem

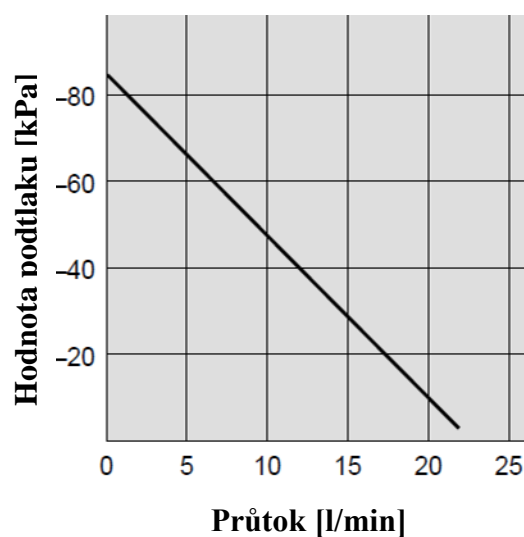
Základní rozměry ejektoru:

Hmotnost 109 g

Rozměry (dxvxš) 107x72x10 mm



Obr. 31 Charakteristika ejektoru



Obr. 32 Průtoková charakteristika při tlaku 0,43MPa



### 5.3 Návrh přísavek

Jak již bylo zmíněno výše, přísavka byla zvolena s měchem z důvodu tolerování menších odchylek polohy efektoru oproti ploše OM. Přísavka má taktéž opěrné žebra, která jsou vhodná pro manipulaci s OM, kdy síla působí kolmo na osu přísavky a tyto žebra zvětšují styčnou plochu mezi přísavkou a OM. Materiál přísavek byl zvolen s ohledem na požadavky efektoru a taktéž s přihlédnutím k ceně. Jako nejvhodnější se jeví využití materiálu přísavek NBR (nitril-butadien kaučuk). Při návrhu se zde vychází z návrhových výpočtů daných výrobcem.

$$\text{Určení průměru přísavek: } \phi D = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{F_g}{n} \cdot k \cdot 1000} \quad (2)$$

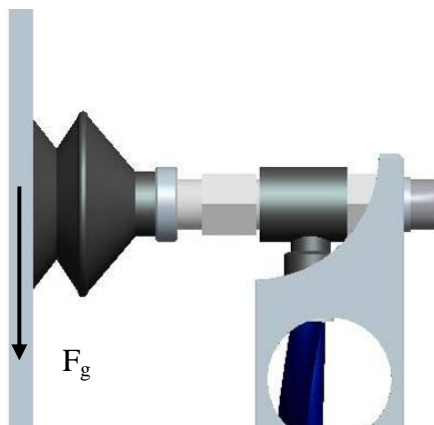
D	průměr přísavek [mm]
$F_g$	gravitační síla [N]
p	podtlak vakua [kPa]
n	počet přísavek
k	koeficient bezpečnosti (zahrnuje externí síly i zrychlení)

$$F_g = m \cdot g \quad (3)$$

$$F_g = 1 \cdot 9,81$$

$$\underline{F_g = 9,81 \text{ N}}$$

m	hmotnost OM [kg]
g	gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ]



Obr. 33 Nejméně příznivý stav uchopení OM

Jak je z obr. 33 zřejmé, nejméně příznivý stav uchopení OM nastává tehdy, když síla působí kolmo na osu přísavky. Při tomto zatížení výrobce navrhuje minimální koeficient bezpečnosti  $k = 8$ . Jelikož efektor má pracovat při zrychlení až  $10 \text{ m/s}^2$  volím koeficient bezpečnosti  $k = 16$ .

$$\phi D = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{1}{70} \cdot \frac{9,81}{4} \cdot 16 \cdot 1000}$$

$$\underline{\underline{\phi D = 26,72 \text{ mm}}}$$

Jelikož vyšel minimální průměr přísavky 26,72 mm, volím tedy nejbližší větší přísavku, která má průměr 32 mm.

Tvrdost Shore HS ( $\pm 5^\circ$ )	50°
Rozsah provozních teplot [ $^\circ\text{C}$ ]	0 – 120
Odolnost vůči olejům (benzin)	výborná
Odolnost vůči olejům (benzen)	žádná
Odolnost vůči zásadám	dobrá
Odolnost vůči kyselinám	dobrá
Odolnost vůči klimatu	dobrá
Odolnost vůči ozonu	žádná
Otěruvzdornost	výborná
Odolnost vůči vodě	dobrá
Odolnost vůči ředidlům (benzen/toluen)	žádná

Tab. 3 Vlastnosti materiálu NBR

Zvolený typ je ZP32BN. Jedná se o přísavku bez odpružení o průměru 32 mm s měchem z materiálu NBR.

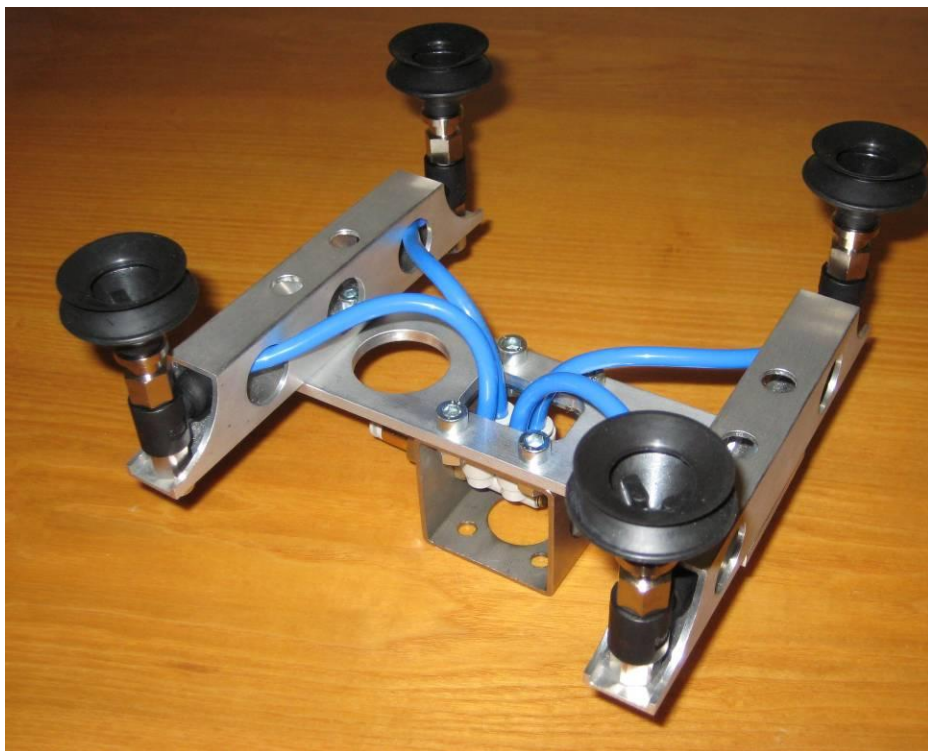


Obr. 34 Přísavka ZP32BN

## 6 Montáž efektoru

Čísla používaná v této kapitole odpovídají pozicím na sestavném výkresu PŘÍSAVKOVÝ EFEKTOR TOM392-01.00

- Na držák přísavky 14 nasunout pojistný kroužek přísavky 13
- Poté nasadit na držák přísavky 14 přísavku 12 a zajistit pojistným kroužkem přísavky 13
- Z opačné strany držáku přísavky 14 přišroubovat adaptér pro axiální přívod 15
- K těmto celkům připojit hadice 11 (předcházející úkony provést stejně pro všechny přísavky)
- Dále tyto celky uchytit pomocí šroubů 6 a podložek 8 k profilu 1 a hadice vyvést ven z profilu prvním otvorem na straně, kde jsou umístěny tři otvory
- Do díry  $\varnothing 14$  mm v profilu 3 vsadit nástrčnou spojku 10 a z vnější strany nasunout podložkou 17 a přišroubovat nástrčnou spojku 16
- Tento celek následně přišroubovat k profilu 2. Ze strany profilu 2 nasunout šrouby 7, z opačné strany je opatřit podložkou 8 a maticí 9
- Následně výše uvedený celek spojit s profily 1, tak aby hadice směřovaly k nástrčné spojce 10, za pomoci šroubů 18, které jsou vloženy do profilu 1 a z druhé strany opatřeny podložkou 19 a maticí 20
- Dále zasunout hadice od přísavkových celků do nástrčné spojky 10
- Tento efektor pomoci šroubu 6 a podložky 8 přichytit k interfacu robotu
- Poté propojit nástrčnou spojku 16 s výstupem ejektoru pomocí hadice a ejektor připojit ke zdroji tlaku na rameni robotu
- Nakonec zbývá zapojení a ovládání ejektoru prostřednictvím řídicího systému robotu, které je popsáno v další kapitole

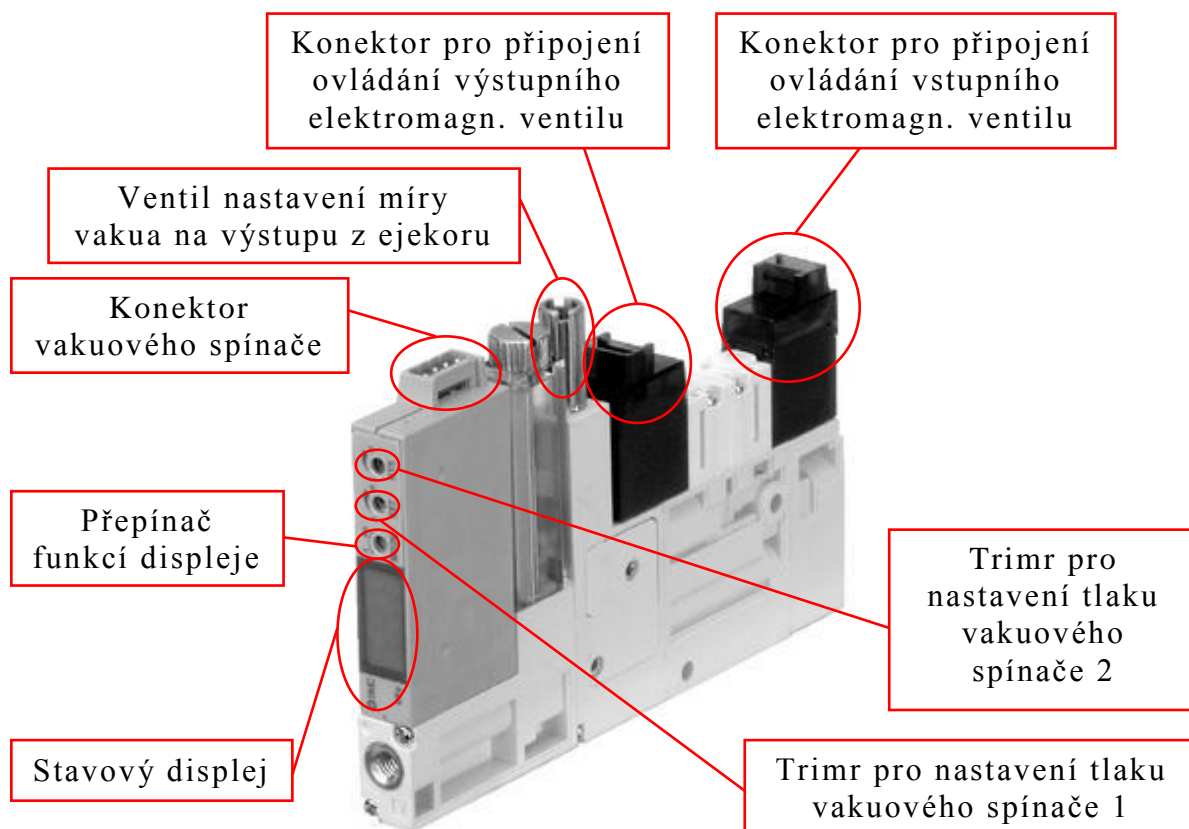


*Obr. 35 Fotografie smontovaného efektoru*

## 7 Zapojení ejektoru

### 7.1 Propojení ejektoru s řídicím systémem robotu

Tato kapitola se zabývá propojením ejektoru umístěného na posledním ramenu robotu s řídicím systémem IRC5 robotu.



Obr. 36 Popis ovládání a připojení ejektoru

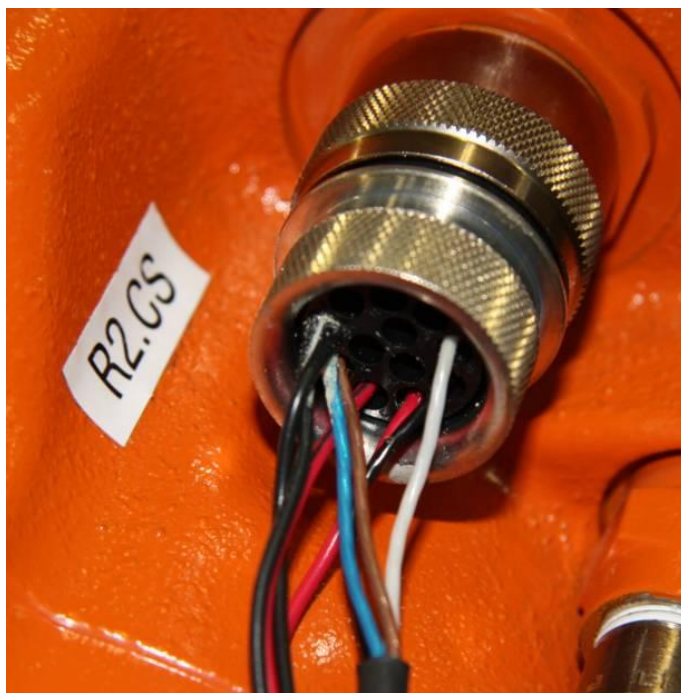
Na ejektoru jsou dva elektromagnetické ventily ovládané napětím +24 V. První z těchto ventilů při přivedení napětí +24 V otevírá trysku pro vznik maximálního možného vakua. Při přivedení napětí +24 V na druhý elektromagnetický ventil dochází k profuku stlačeného vzduchu ejektorem. Při přivedení napětí +24 V do obou těchto ventilů současně dochází k možnosti řízení velikosti vakua na výstupu z ejektoru.

Dále je součástí tohoto ejektoru také podtlaková jednotka. Součástí této jednotky je display a dva stavitelné podtlakové spínače. Tato jednotka ke svému provozu potřebuje také napájení +24 V, které využívá k napájení displeje i k napájení podtlakových spínačů.

K připojení ejektoru k řídicímu systému průmyslovému robotu ABB IRB 140 je zapotřebí prostudovat veškerou dokumentaci jak výrobce robotu, tak výrobce ejektoru.

Jelikož elektromagnetické ventily ejektoru se chovají jako indukční zátěž, je zapotřebí ověřit, zda je řídicí systém robotu k této činnosti uzpůsoben. Po prostudování manuálů od firmy ABB bylo zjištěno, že řídicí systém je uzpůsoben pro spínání této zátěže a že tudíž nehrozí jeho porušení.

K oběma elektromagnetickým ventilům jsou vedeny dva kabely. Černý (0 V) připojený do pozice A v konektoru robotu a červený (+24 V) připojený do pozice C, příp. D pro připojení DO1, příp. DO2, které slouží k ovládání ventilů. Jestliže není přivedeno napájecí napětí, ventil je uzavřen, až při přivedení napětí (+24 V) se ventil otevře. K měřicí podtlakové jednotce jsou vedeny čtyři kabely: modrý (0 V) připojený do pozice A, hnědý (+24 V, stabilní napájení) připojený do pozice B, černý (DI1) připojený do pozice E a bílý (DI2) připojený do pozice F.

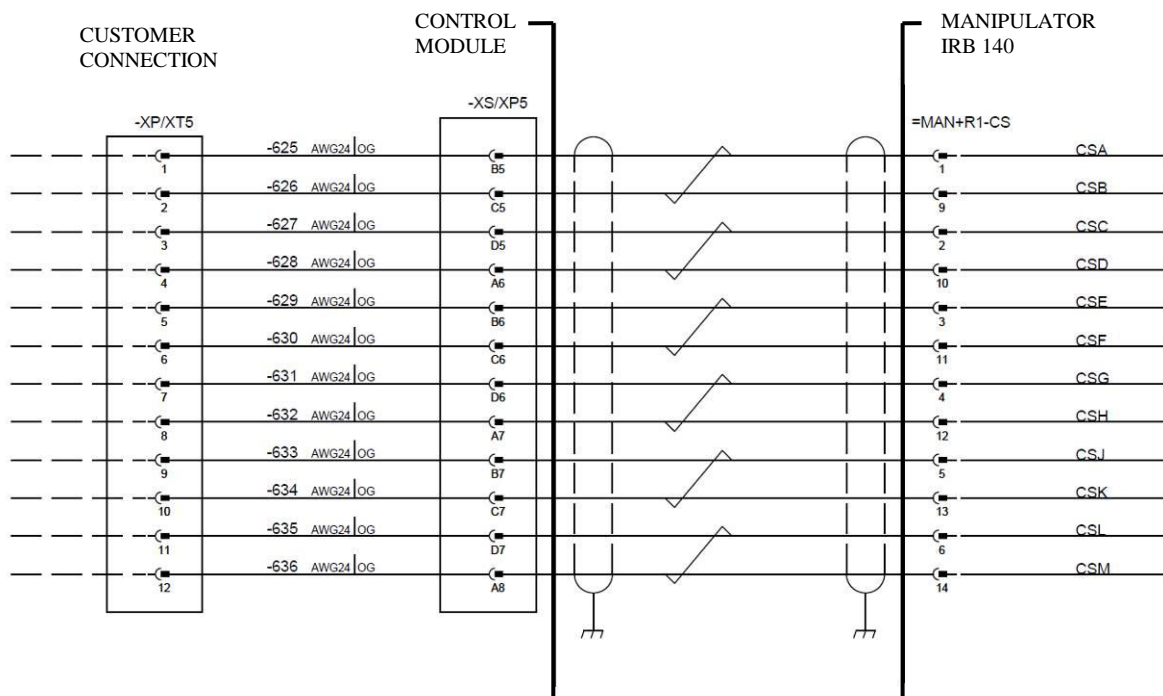


*Obr. 37 Konektor R2.CS na rameni robotu*

Další problematikou je přenos napájení a signálů mezi řídicím systémem a ramenem robotu, jelikož na konektoru, který se nachází na rameni robotu, jsou jednotlivé pozice označeny písmeny A až M a v řídicím

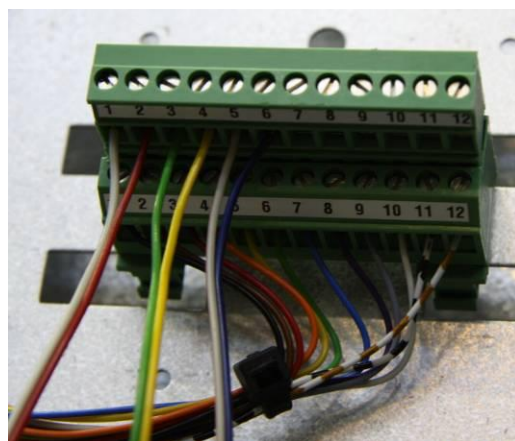


systému robotu jsou označeny číselně hodnotami 1 až 12. Převod tohoto značení je uveden na obr. 38.



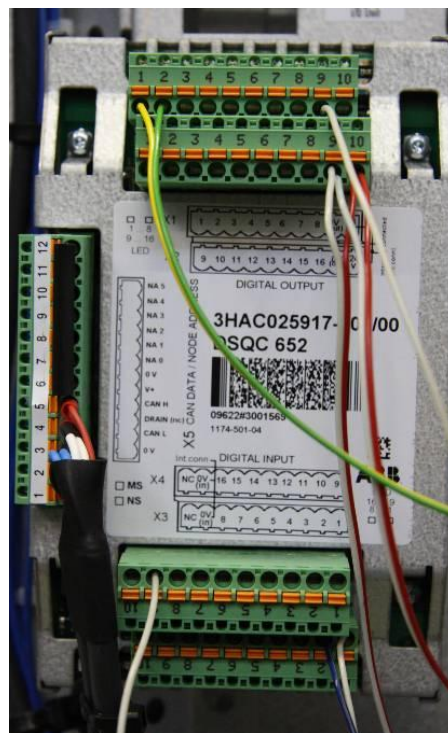
Obr. 38 Převod značení mezi ramenem robotu (konektor R2.CS) a řídicím systémem robotu (svorkovnice XT 5/5.1)

Veškeré potřebné jednotky k zapojení v řídicím systému robotu pro ovládání ejektoru se nacházejí na vnitřní straně dveří tohoto systému. Zde jsou také vyvedeny kabely od konektoru (R2.CS) z ramene robotu. Tyto kabely lze vidět na (obr. 39) spodní svorkovnici, na horní lze již vidět mnou využitou pozici. Přičemž pozici 1 odpovídá napětí 0 V, pozici 2 odpovídá napětí 24 V, pozice 3 je DO1, pozice 4 je DO2, pozice 5 je DI1 a pozici 6 odpovídá DI2. Dále tyto vodiče vedou do jednotky I/O (obr. 40), která ovládá binární výstupy a taktéž zpracovává binární vstupy. V horní části této jednotky se nachází svorkovnice pro připojení digitálních výstupů jak je vidět na fotografii. Jsou zde připojeny kabely ovládající elektromagnetické ventily, tyto kabely



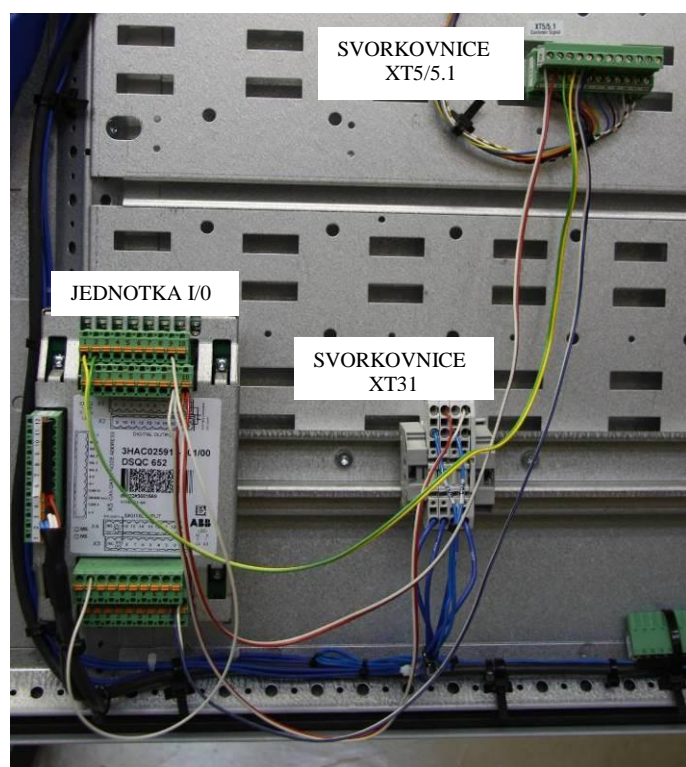
Obr. 39 Svorkovnice XT5/5.1

jsou připojeny na pozicích 1 a 2. Dále jsou zde připojeny kabely z napájecí jednotky XT31 na pozici 9 (0 V) a na pozici 10 (+24 V), které jsou dále vedeny do jednotky XT5/5.1, popř. do spodní části jednotky (jen pozice 9), která slouží pro připojení digitálních vstupů. Na této svorkovnici jsou rovněž připojeny kabely (na pozicích 1 a 2) z podtlakových spínačů.



Obr. 40 Jednotka I/O

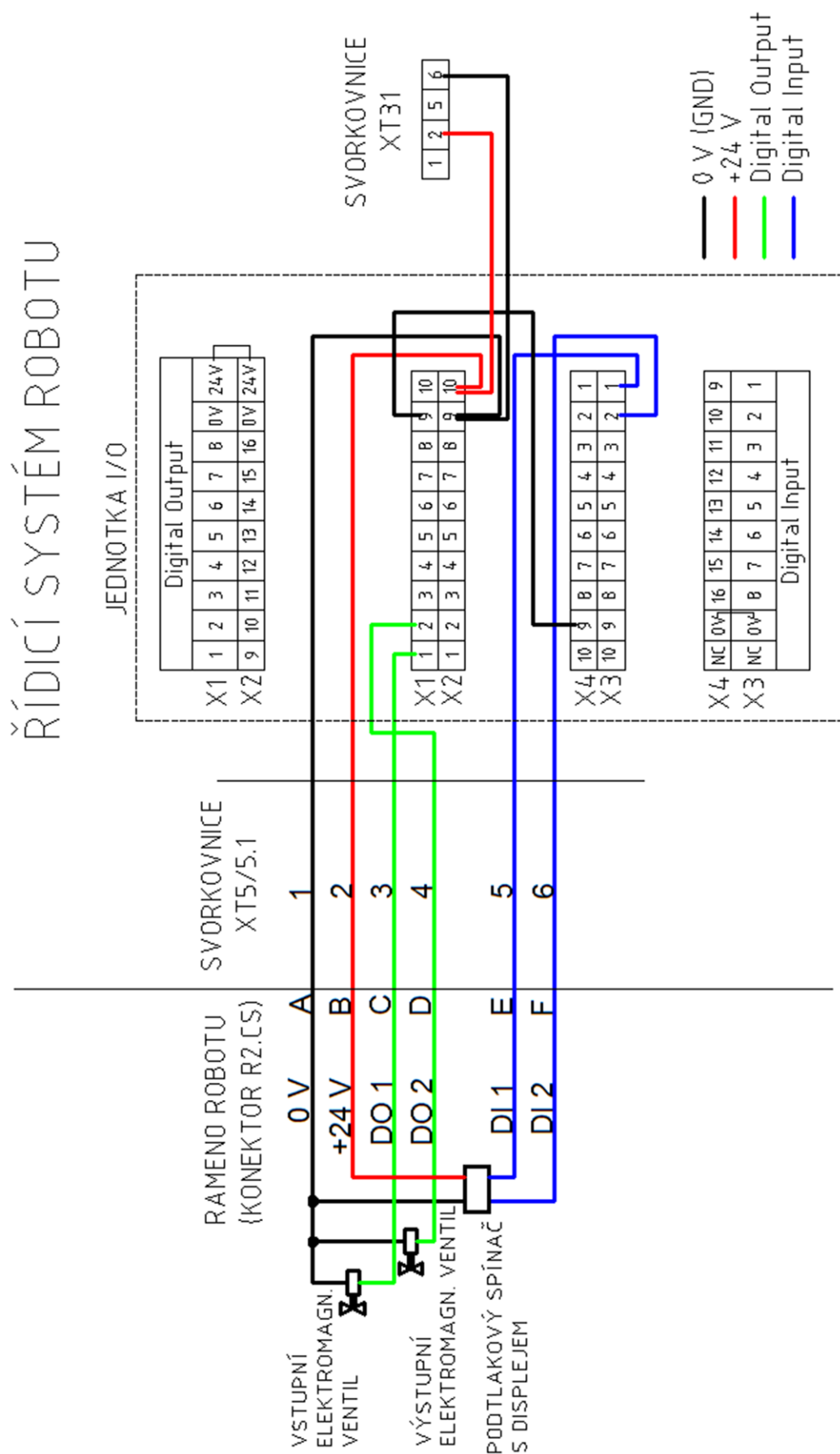
Kompletní propojení jednotlivých částí v řídicím systému robotu je znázorněno na obr. 41. Je zde znázorněna svorkovnice XT5/5.1 sloužící k propojení s konektorem na rameni robotu, dále jednotka I/O a svorkovnice XT31, která zprostředkovává napájení.



Obr. 41 Propojení v řídicím systému

Detailní schéma zapojení ejektoru k řídicímu systému robotu IRC5 je znázorněno na následující straně viz obr. 42.

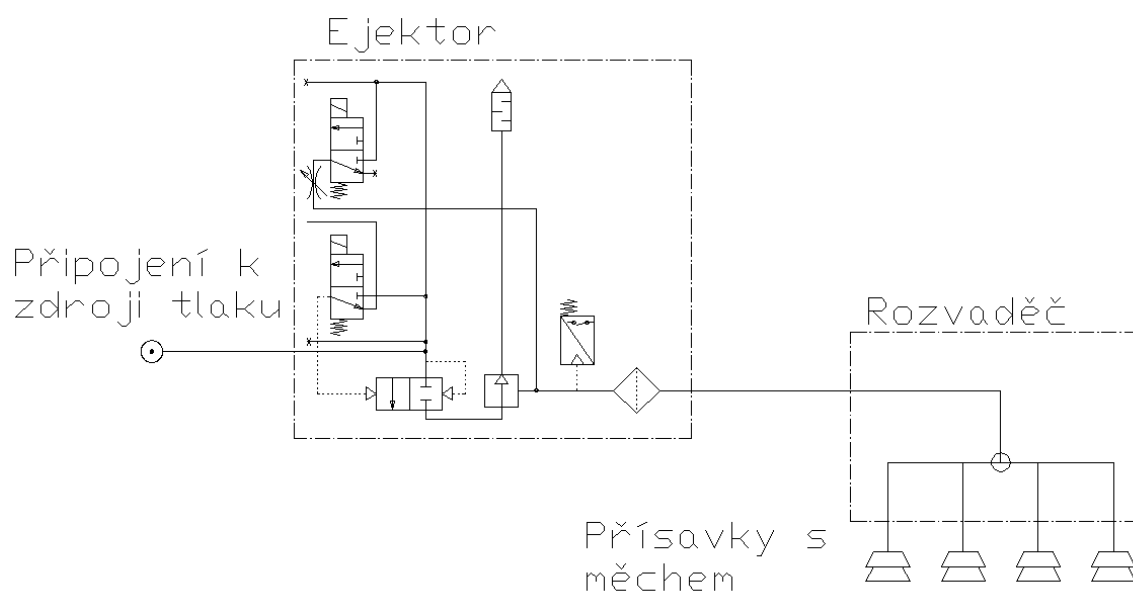




Obr. 42 Schéma zapojení ejektoru

## 7.2 Zapojení pneumatického obvodu

Tlakový vzduch je přiveden do robotu z centrálního systému laboratoře. V robotu je dále veden integrovaným rozvodem a vyveden na posledním ramenu. Odtud je již veden na přívod do ejektoru, kde dochází ke vzniku vakua. Na této straně je dále napojen rozvaděč a jednotlivé přísavky s měchem. Ovládání ejektoru je provedeno prostřednictvím dvou elektromagnetických ventilů. Ejektor také poskytuje informace o hladině vakua prostřednictvím dvou nastavitelných hodnot na podtlakovém spínači.



Obr. 43 Schéma propojení ejektoru, rozvaděče a přísavek

## 8 Testování efektoru

### 8.1 Výpočet potřebné síly přísavek

Základními vstupními parametry pro výpočet potřebné síly přísavek jsou maximální hmotnost OM, která je 1 kg, maximální zrychlení OM, které může dosahovat  $10 \text{ m/s}^2$  a počet přísavek – v tomto případě čtyři. Dalším důležitým parametrem je součinitel tření mezi přísavkou a OM. V tabulce 4 jsou uvedeny koeficienty tření pro možné materiály manipulace.

Materiál přísavky	Materiál OM	Min. koef	Max. koef	Typický koef
Perbunan (NBR)	plexisklo/akrylát	0,55	1,05	0,7
Perbunan (NBR)	kov			0,5
Perbunan (NBR)	karton	0,6	0,8	0,75
Perbunan (NBR)	tvrdá guma	0,75	1,25	0,8
Perbunan (NBR)	dřevo			0,5

Tab. 4 Koeficient tření mezi přísavkou (NBR) a OM

Z vybraných materiálů je nejmenší koeficient tření (0,5) pro kov a dřevo, tudíž je počítáno s touto hodnotou.

Na přísavkách je vyvíjen podtlak prostřednictvím jednoho centralizovaného zdroje vakua (ejektor). Výhodou tohoto užití je jednoduchost připojení k řídicí jednotce robotu, kompaktní rozměry, nízká hmotnost a možnost ověření minimální nutné hodnoty vakua na přísavkách.

$m = 1 \text{ kg}$	hmotnost OM
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	gravitační zrychlení
$a = 10 \text{ m/s}^2$	zrychlení TCP
$f = 0,5$	koeficient tření
$v = 1,25 \text{ m/s}$	rychlost TCP
$r = 0,324 \text{ m}$	min. vyložení ramene
$x = 0,13 \text{ m}$	výška efektoru
$F$	min. síla uchopení

Výpočet sil v nejméně příznivé poloze:

Je potřeba vypočítat minimální teoretickou potřebnou sílu přísavek. Jelikož nejméně vhodná poloha pro manipulaci je s OM ve vertikální poloze viz obr. 44, počítá se tato síla pro zrychlení OM v této poloze a se zrychlením proti směru gravitačního zrychlení. Dále je také zapotřebí počítat s odstředivou silou, která je maximální pro OM při minimálním vyložení ramene (0,324 m) a rychlosti 1,25 m/s. Tato rychlost je 50% maximální rychlosti TCP. Tato rychlost byla zvolena s ohledem na využití efektoru při výuce, kde z důvodu bezpečnosti není používána maximální rychlost. Celková minimální síla přísavek ( $F$ ) je tedy součtem potřebných sil při maximálním zrychlení v nejméně příznivé poloze ( $F_1$ ) a odstředivé síly při minimálním vyložení ramene ( $F_2$ ).

$$F_1 = \left( \frac{m}{f} \right) \cdot (g + a) \quad (4)$$

$$F_1 = \left( \frac{1}{0,5} \right) \cdot (9,81 + 10)$$

$$\underline{F_1 = 39,62 \text{ N}}$$

$$F_2 = \frac{m \cdot v^2}{r + x} \quad (5)$$

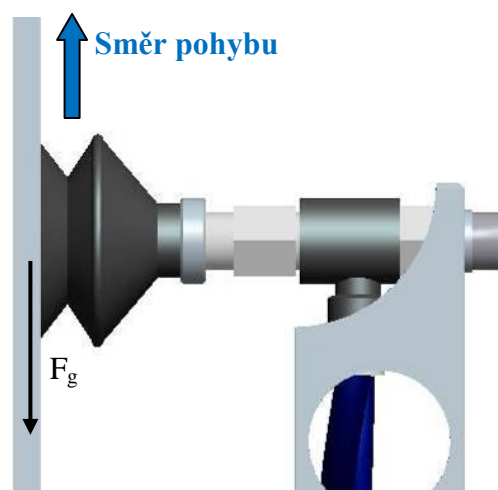
$$F_2 = \frac{1 \cdot 1,25^2}{0,324 + 0,13}$$

$$\underline{F_2 = 3,44 \text{ N}}$$

$$F = F_1 + F_2 \quad (6)$$

$$F = 39,62 + 3,44$$

$$\underline{\underline{F = 43,06 \text{ N}}}$$



Obr. 44 Znáznornění nejméně příznivého stavu

Celková minimální síla uchopení je tedy 43,06 N.

## **8.2 Popis testů**

Jako první možná varianta byla navržena možnost statického testu za pomoci digitální závěsné váhy, kde by efektor byl aktivován a držel OM. Na něj by za pomoci digitální závěsné váhy bylo zvyšováno zatížení až do stavu odtržení OM od přísavek. Takto by se postupovalo pro jednotlivé hladiny vakua.

Další možností bylo provedení dynamických nárazových testů, kdy by přichyceným OM bylo naraženo do pevné překážky a zjišťovalo by se, zda se OM posunul, uvolnil, či stále drží na své původní pozici. Tento test by ovšem byl náročný jak na zatížení robotu, tak na měření s jakými parametry došlo k nárazu do pevné překážky. Taktéž by mohly nastat problémy s automatickou deaktivací motorů při přetížení na robotu, a tudíž by výsledky mohly být zkresleny.

Poslední metodou je provedení statických testů, kde na OM, který je přichycen přísavkami na efektoru, jsou postupně zavěšovány PET láhve naplněné vodou (z důvodu jednoduchého stanovení zatížení) v předem stanovené zátěži. Takto dochází k postupnému zatěžování OM na jednotlivých hladinách vakua, až do uvolnění, případně do stavu, kdy OM již není zcela pevně uchycen. Tato metoda byla vybrána jako nejvhodnější jak z důvodu nízkých nákladů, tak z důvodu snadného provedení.

### Popis vybraného testu:

- na ejektoru byl nastaven podtlak -10 kPa
- ejektor byl aktivován
- k přísavkám byl přiložen OM, čímž došlo k jeho uchycení
- dále bylo zvětšováno zatížení (pomocí PET lahví naplněných vodou) až do stavu uvolnění OM, příp. narušení pevného uchycení OM
- takto byl efektor testován na jednotlivých hladinách vakua při kroku -10 kPa až do svého maxima (tj. asi -90 kPa)
- test byl proveden ve vertikální i horizontální poloze OM
- při testech bylo nutné udržovat OM suchý a zbavený veškerých nečistot

### **8.3 Výsledky testu při horizontálním uchycení OM**

Jak je vidět na obr. 45, zátěž je při horizontálním uchycení OM pokládána přímo na OM. Test byl na každé hladině vakua ukončen tehdy, když měch na přísavkách se již pod zatížením začal deformovat do své původní (nezatížené) polohy.

Taktéž je z výsledků zřejmé, že zatížitelnost je přímo úměrná velikosti podtlaku. Nepatrná odchylka od přímkového grafu je způsobena přidáváním zátěže, vždy o jeden kilogram větší.

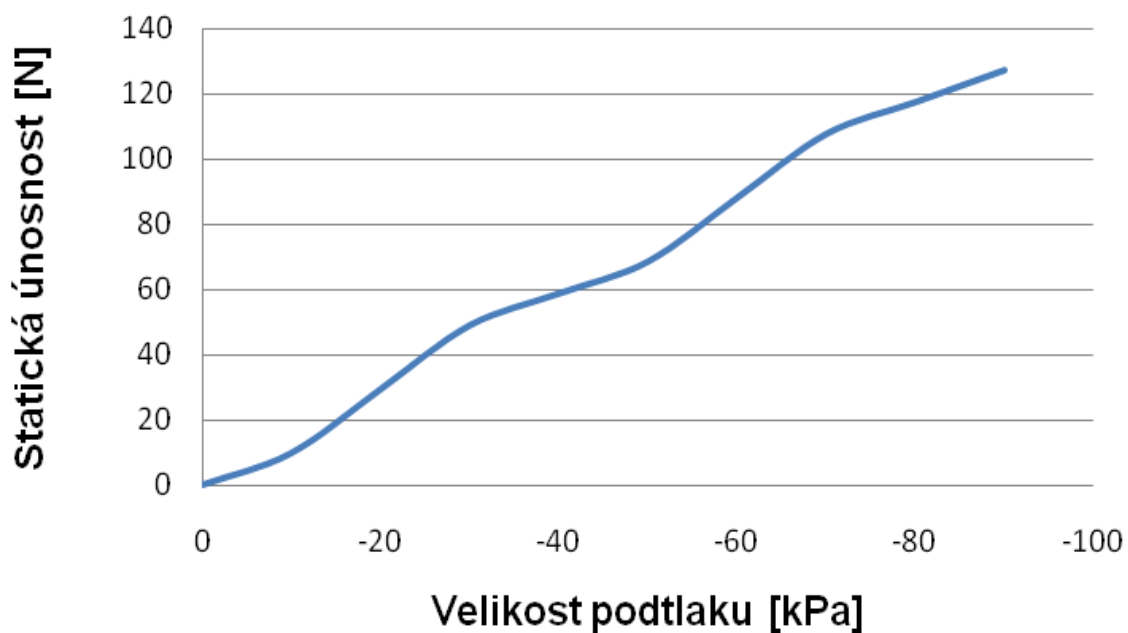


*Obr. 45 Ukázka testování při horizontálním uchycení OM*

Horizontální zatížení		Podtlak [kPa]								
		-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
Statická únosnost [N]	9,81	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	19,62		x	x	x	x	x	x	x	x
	29,43		x	x	x	x	x	x	x	x
	39,24			x	x	x	x	x	x	x
	49,05			x	x	x	x	x	x	x
	58,86				x	x	x	x	x	x
	68,67					x	x	x	x	x
	78,48						x	x	x	x
	88,29						x	x	x	x
	98,1							x	x	x
	107,91							x	x	x
	117,72								x	x
	127,53									x

x – symbol pevného uchycení

Tab. 5 Tabulka zatížitelnosti efektoru s OM v horizontální poloze



Obr. 46 Graf statické únosnosti v závislosti na podtlaku při horizontálním uchycení OM

#### **8.4 Výsledky testu při vertikálním uchycení OM**

Při vertikálním uchycení OM je zatížení provedeno pomocí PET lahví zavěšených na šňůře (obr. 47). Takto prováděný test byl na každé hladině vakua ukončen ve chvíli, kdy došlo k první viditelné deformaci přísavek.

Rovněž z těchto výsledků (obr. 48) je zřejmé, že zatížitelnost je přímo úměrná velikosti podtlaku. I zde je nepatrná odchylka od přímkového grafu způsobena přidáním zátěže, vždy o jeden kilogram větší.



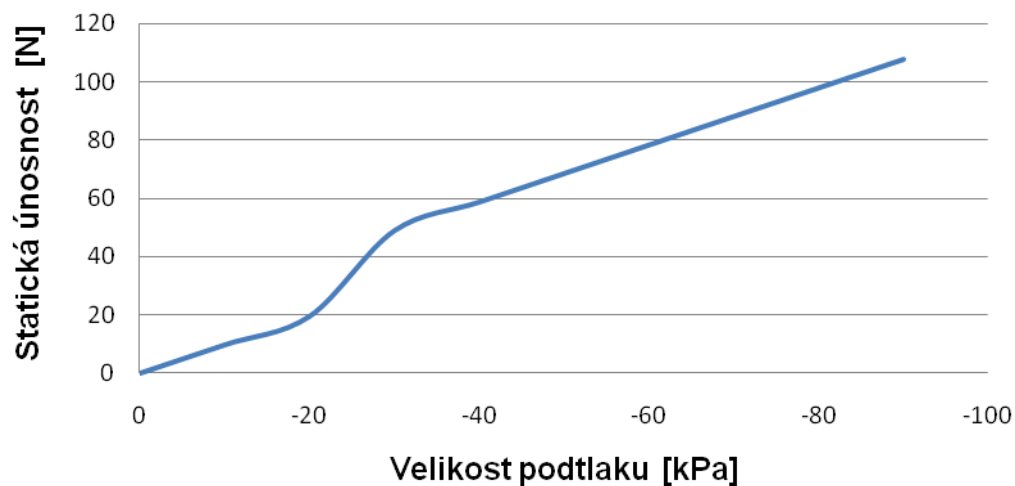
*Obr. 47 Ukázka testování při vertikálním uchycení OM*



Vertikální zatížení		Podtlak [kPa]								
		-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
Statická únosnost [N]	9,81	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	19,62		x	x	x	x	x	x	x	x
	29,43			x	x	x	x	x	x	x
	39,24			x	x	x	x	x	x	x
	49,05			x	x	x	x	x	x	x
	58,86				x	x	x	x	x	x
	68,67					x	x	x	x	x
	78,48						x	x	x	x
	88,29							x	x	x
	98,1								x	x
	107,91									x

x – symbol pevného uchycení

Tab. 6 Tabulka zatížitelnosti efektoru s OM ve vertikální poloze



Obr. 48 Graf statické únosnosti v závislosti na podtlaku při vertikálním uchycení OM

## **8.5 Vyhodnocení výsledků testů**

Dle předcházejících testů je zřejmé, že zatížitelnost efektoru je při vertikálním uchycení OM menší (tak jak udává výrobce přísavek) než při horizontálním uchycení OM. Z tohoto důvodu se již práce dále zabývá pouze výsledky testu při uchycení OM ve vertikální poloze.

Jelikož při návrhu bylo počítáno s hladinou vakua -70 kPa, je únosnost při této hladině rozhodující. Statická únosnost na této hladině tedy je 88,29 N. Jelikož minimální síla uchopení viz vzorec (6) je 43,06 N, odpovídá pro materiál s nejmenším koeficientem tření (kov příp. dřevo) koeficient bezpečnosti 2,05. Při použití plexiskla, tak jako je tomu v tomto případě, je koeficient bezpečnosti 2,78.

Při testech se ovšem objevil problém s dosahováním potřebného podtlaku. Jelikož ztráty ve vedení stlačeného vzduchu jsou velké a kompresor nepracuje s konstantním tlakem, ale je spínán až při jeho určitém poklesu, dosahuje tlakový vzduch u ejektoru tlaku 2,8 – 4,2 bar, přičemž tlak na kompresoru je nastaven na hodnotu 5,2 bar. Z tohoto důvodu také dochází k pulzaci podtlaku v rozsahu -55 až -90 kPa, což má za následek pokles hladiny podtlaku pod stanovenou mez.

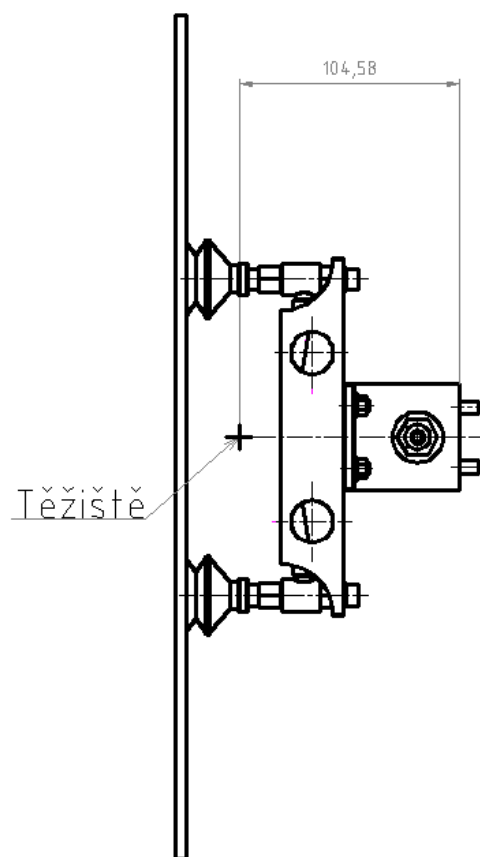
Řešení je mnoho, např. umístění kompresoru do blízkosti robotu, volba přísavek o větším průměru nebo softwarově zabránit pohybu robotu pokud není podtlak minimálně -70 kPa, to by ale mělo za následek dlouhodobé vyřazení robotu z činnosti z důvodu velké prodlevy mezi poklesem podtlaku a jeho opětovným navýšením na minimální hladinu -70 kPa.

Je zde také možnost snížení hladiny podtlaku z -70 kPa na -60 kPa při současném softwarovém zajištění, kdy dojde k činnosti pouze tehdy, pokud je hladina vakua minimálně -60 kPa. Touto změnou by došlo ke snížení statické únosnosti na hodnotu 78,48 N, což by mělo za následek snížení koeficientu bezpečnosti na hodnotu 1,82. Ovšem pro OM z plexiskla by koeficient bezpečnosti stále dosahoval hodnoty 2,47, což je dostačující. Tato možnost byla posléze vybrána jako vhodná pro aplikaci a došlo tedy k snížení hladiny vakua z -70 kPa na -60 kPa při současném nastavení podtlakového spínače na podtlak -60 kPa.

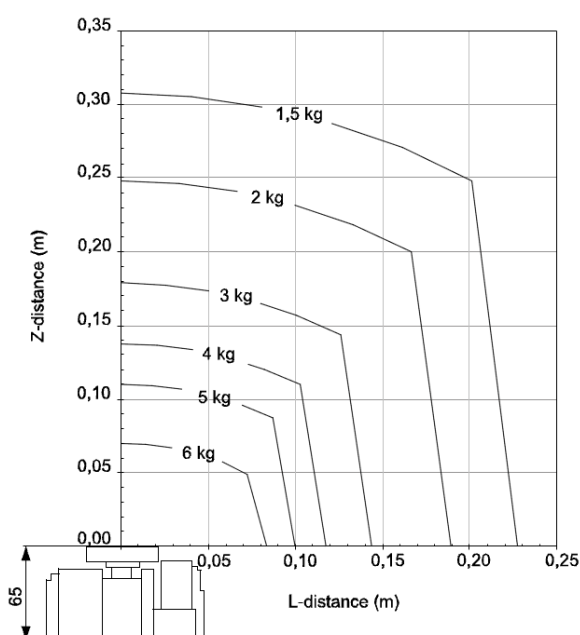
## 9 Výsledné parametry robotu a efektoru

### 9.1 Kontrola nosnosti robotu

Jelikož těžiště efektoru s objektem manipulace je ve vzdálenosti 104,58 mm od interfacu robotu (viz obr. 49), je zapotřebí určit, zda váha tohoto celku, která je 1,6 kg, nepřesahuje únosnost robotu. To určíme z grafu, který je na obr. 50. Vyvážení efektoru kolem osy z (Z-distance) není zapotřebí se zabývat z toho důvodu, že efektor je kolem této osy téměř souměrný. Jak je tedy na tomto grafu vidět, při vzdálenosti těžiště do 110 mm je nosnost robotu 5 kg. Z tohoto vyplývá, že robot není přetížen.



Obr. 49 Poloha těžiště efektoru s OM



Obr. 50 Přepočet nosnosti robotu vůči posunu těžiště od interfacu

## 9.2 Výsledné technické parametry efektoru

<b>Provozní tlak</b>	<b>5 bar</b>
<b>Maximální hmotnost OM</b>	<b>1 kg</b>
<b>Maximální zrychlení TCP</b>	<b>10 m/s<sup>2</sup></b>
<b>Maximální rychlost TCP</b>	<b>1,25 m/s</b>
<b>Stav povrchu OM</b>	<b>hladký, čistý, suchý</b>
<b>Provozní teplota</b>	<b>5 – 50 °C</b>
<b>Evakuační čas</b>	<b>50 ms</b>
<b>Maximální vyvíjené vakuum</b>	<b>- 90 kPa</b>
<b>Hmotnost efektoru</b>	<b>0,6 kg</b>
<b>Rozměry efektoru</b>	<b>187x187x130 mm</b>
<b>Minimální rozměr OM</b>	<b>190x190 mm</b>

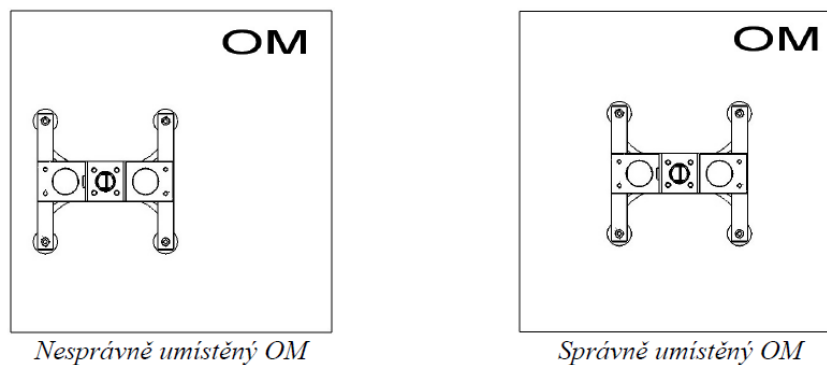
Tab. 7 Výsledné parametry efektoru

## 9.3 Bezpečnostní pokyny

Jelikož efektor je využíván ve výukové laboratoři, budou bezpečnostní pokyny sloužit i k zaškolení studentů na pracovišti. Tyto pokyny jsou trvalé a slouží k zabezpečení bezproblémového chodu efektoru, vyhnutí se riziku úrazu, příp. poškození, které by v důsledku činnosti mohlo nastat.

- Před začátkem provozu zkontrolujeme veškeré propojení hadic a konektorů (zda nejsou odpojené, prodřené či jinak poškozené) a také stav přísavek (praskliny či jiná poškození), které by znemožňovaly bezproblémový chod.
- Po spuštění systému provedeme test funkčnosti efektoru a přísavek za pomoci aktivace ejektoru a přiložení OM. Ten musí být pevně uchycen.

- Dále je nutno zajistit polohu OM vůči efektoru tak, aby střed OM odpovídal středu efektoru (obr. 51).



Obr. 51 Pozice uchycení OM

- OM musí být čistý, suchý a hladký.
- Efektor nesmí být přetěžován, maximální váha OM může být maximálně 1 kg.
- Všechny přísavky musí být zcela v kontaktu s povrchem OM.
- Maximální zrychlení TCP nesmí překročit  $10 \text{ m/s}^2$ .
- Maximální rychlost TCP nesmí překročit  $1,25 \text{ m/s}$ .
- Efektor nesmí přijít do styku s prachem, pískem, vodou apod. z důvodu možnosti ucpání trysky ejektoru.
- V případě dodržení těchto podmínek lze efektor používat, ovšem při jakýchkoliv pochybnostech o jejich dodržení či stavu efektoru je povinností toto konzultovat s vyučujícím.

## 10 Programování prostřednictvím FlexPendant

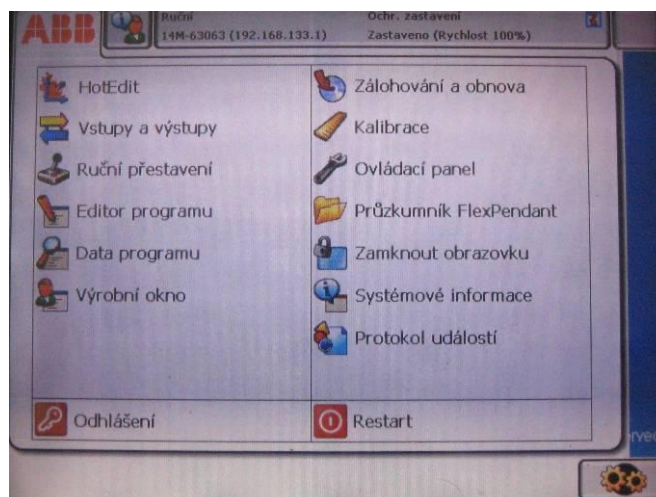
V této části se práce věnuje problematice programování robotu včetně ovládání efektoru prostřednictvím jednotky FlexPendant (obr. 52). Pro přiblížení této problematiky je naprogramován jednoduchý program, prostřednictvím kterého se ovládá robot s efektozem. Programování pomocí této jednotky je provedeno v jazyce RAPID.



Obr. 52 Jednotka FlexPendant

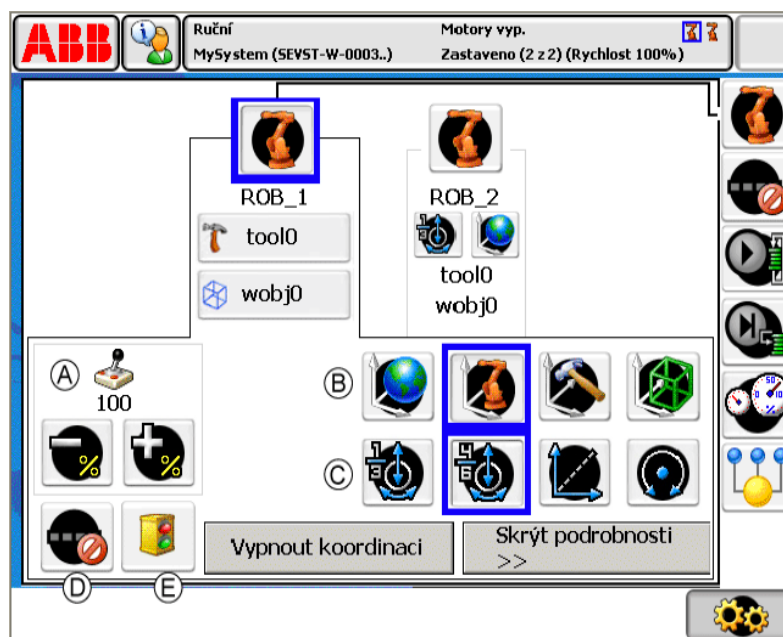
V horní části této jednotky jsou programovatelná tlačítka (I-III), která slouží, např. jako v tomto případě, k ovládání digitálních výstupů v manuálním režimu. Ale jsou zde také tlačítka pro krokování příp. spouštění a zastavení programu. Dále je zde joystick pro ovládání jednotlivých os robotu. V neposlední řadě je zde tzv. tlačítko mrtvého muže, které se nachází na spodní straně jednotky a rovněž stop tlačítko. Samotné ovládání jednotky je provedeno prostřednictvím dotykového displeje. Výhodou tohoto ovládání je jeho intuitivnost a jednoduchost.

Po spuštění celého systému robotu se na jednotce FlexPendant zobrazí úvodní obrazovka. Po doteku v levém horním rohu na pole „ABB“ se



Obr. 53 Základní menu jednotky FlexPendant

objeví základní menu (obr. 53). Toto menu slouží k základní obsluze robotu. Pro zjednodušení ovládání v manuálním režimu byly programovací tlačítka (I a II) naprogramovány pro ovládání elektromagnetických ventilů na ejektoru. To se provede prostřednictvím položky „Ovládací panel“ v menu. Zde se již pouze zvolí u daného tlačítka digitální výstup, který má být ovládán a jaká funkce má být při stisku tlačítka provedena.

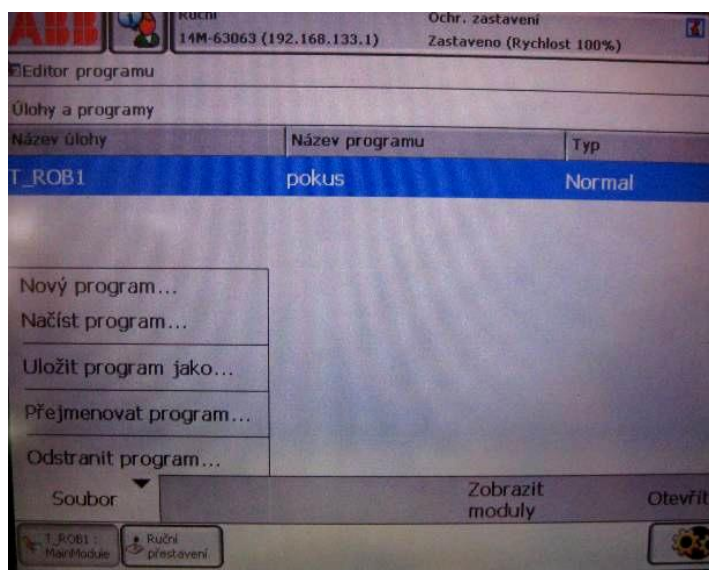


Obr. 54 Obrazovka ručního přestavení

- A... Volba nastavení rychlosti ručního přestavení
- B... Volba souřadnicového systému
- C... Volba pohybového režimu
- D... Zapnutí nebo vypnutí přírůstku definovaného uživatelem
- E... Zapnutí nebo vypnutí monitorování ručního přestavení

Dále je v tomto menu položka „Ruční přestavení“ (obr. 54), která slouží k manuálnímu přestavení robotu do požadované polohy. Prostřednictvím tohoto ovládání je možno robot ovládat do požadované polohy, která je využita při programování. Poslední použitou položkou z tohoto menu je záložka „Editor programu“ (obr. 55). Po zvolení této volby lze zvolit z možností „Nový program“, po této volbě je potřeba zadat již jen název programu a můžeme programovat. Dále je zde volba „Načíst program“ ta umožňuje načíst již vytvořený program a dále s ním pracovat. Ostatní

uvedené volby slouží k uložení, přejmenování či odstranění již vytvořeného programu.



Obr. 55 Menu v editoru programu

Samotné programování je možné po vytvoření nového programu, příp. po načtení již vytvořeného. Na obr. 56 je vidět již vytvořený jednoduchý program. První dva řádky tohoto programu obsahují označení modulu a procedury, naopak poslední dva řádky tyto části ukončují. Mezi těmito označeními se nachází samotný program.

```

1      MODULE MainModule
2      PROC main()
3          MoveL *, v1000, z50, tool0;
4          WaitTime 1;
5          MoveL *, v1000, fine, tool0;
6          WaitTime 0.25;
7          Set DO10_2;
8          Set DO10_1;
9          WaitDI DI10_2, 1;
10         MoveL *, v1000, fine, tool0;
11         MoveC *, *, v1000, z50, tool0;
12         MoveJ *, v1000, z50, tool0;
13         MoveJ *, v1000, z50, tool0;
14         MoveJ *, v1000, z50, tool0;
15         MoveJ *, v1000, z50, tool0;
16         MoveC *, *, v1000, z50, tool0;
17         MoveC *, *, v1000, z50, tool0;
18         MoveC *, *, v1000, z50, tool0;
19         MoveC *, *, v1000, z50, tool0;
20         MoveJ *, v1000, fine, tool0;
21         WaitTime 0.25;
22         Set DO10_1, 0;
23         Set DO10_2, 0;
24         WaitTime 0.25;
25     ENDPROC
26 ENDMODULE

```

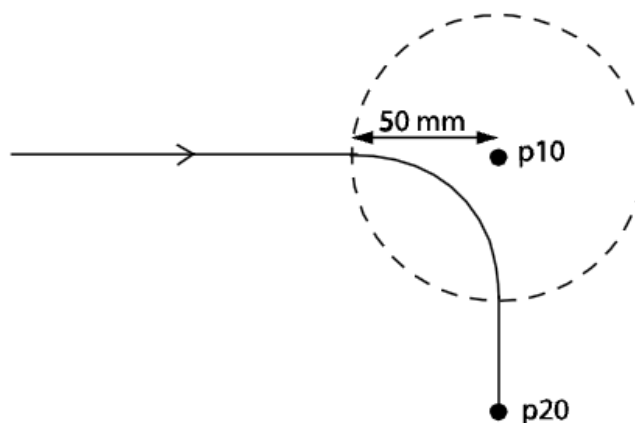
Obr. 56 Ovládací program



Popis příkazů programu:

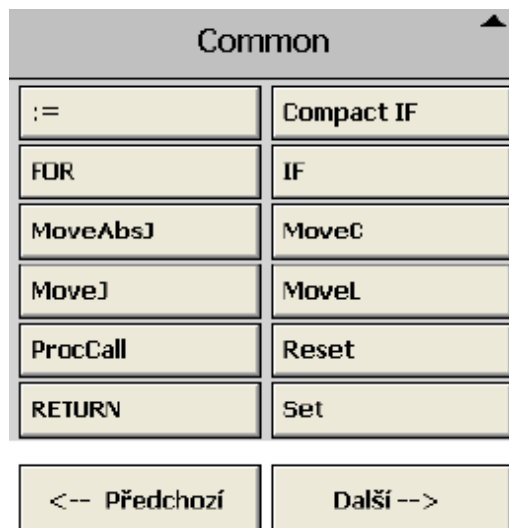
MoveL	lineární (přímkový) pohyb bodu TCP
MoveC	pohyb po kružnici bodu TCP
MoveJ	rychlý pohyb z bodu do bodu kdy nezáleží na trajektorii
*	souřadnice konečné pozice
v1000	označení maximální rychlosti TCP
z50	tolerance od přesné pozice; robot projíždí ve vzdálenosti do 50 mm od přesné pozice (obr. 56)
fine	robot projíždí přesně danou pozicí (obr. 56)
tool0	označení nástroje
Set DO10_2	aktivování digitálního výstupu 2
Set DO10_2, 0	deaktivace digitálního výstupu 2
WaitDI DI10_2, 1	čekání na logickou 1 na digitálním vstupu 2,
WaitTime 1	časová prodleva 1 sekundy

```
MoveL p10, v1000, z50, tool0;  
MoveL p20, v1000, fine, tool0;
```



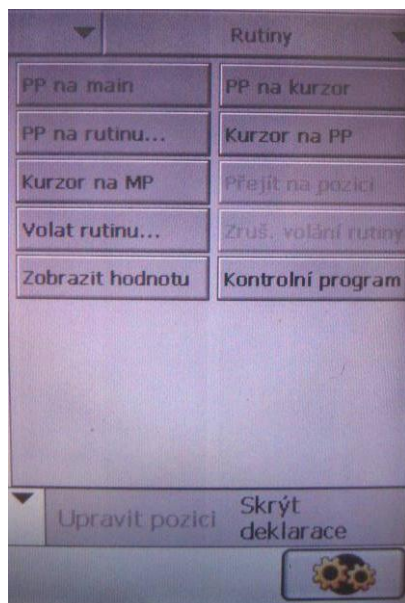
Obr. 56 Zobrazení tolerance pozic z50 a fine

Při vytváření programu využíváme položku „Přidat instrukci“ pomocí které vkládáme nové příkazy do programu. Pod touto položkou se nachází další menu (obr. 57) rozdělené do pod-složek jako např. Common (Běžné), kde jsou uvedeny nejčastější instrukce, nebo např. I/O, která slouží ke zpracování binárních vstupů a výstupů v programu.



Obr. 57 Menu přidání instrukcí

Po sestrojení programu je možnost program odladit za pomoci krokování. Tato možnost je vhodná pro otestování pohybů a činností robotu. Zvolením položky „Odladit“ na panelu se zobrazí menu (obr. 58). V tomto menu je možnost nastavení místa odkud má program začít běžet. Pomocí ovládacích tlačítek na FlexPendantu je možno krokování jednotlivých příkazů nebo běhu celého programu v ručním režimu.



Obr. 58 Menu ladění programu

## 11 Závěr

V první části byly provedeny úpravy původního návrhu modelu přísavkového efektoru – uchycení rozvaděče podtlaku, závit v hliníkovém profilu byl nahrazen průchozí dírou a spoj byl doplněn matkou, nahrazení ploché přísavky přísavkou s měchem a v neposlední řadě také odstranění středící příruby. Dle tohoto návrhu byla vypracována výkresová dokumentace. Dle této výkresové dokumentace byly vyrobeny potřebné komponenty, zbylé komponenty byly nakoupeny a následně byl efektor smontován. Dále byl na rameno robotu přichycen ejektor a na interface robotu byl přichycen efektor.

Posléze byl ejektor napojen na řídicí systém robotu, prostřednictvím kterého je ovládán. Bylo provedeno napojení ejektoru na konektor, který je umístěn na posledním ramenu robotu a taktéž propojení jednotlivých komponent v řídicím systému robotu.

Následně byly provedeny funkční testy efektoru, které odhalily komplikaci v podobě poklesu tlaku u ejektoru. Prostřednictvím snížení hladiny podtlaku z -70 kPa na -60 kPa a současného softwarového omezení bylo dosaženo vhodného nastavení.

Dále byly také vypracovány bezpečnostní pokyny pro práci s efektozem, které musí být bezpodmínečně dodrženy při jeho užívání. K nejdůležitějším patří zajištění hladkého, čistého a suchého povrchu OM, dodržení maximální hmotnosti, rychlosti, zrychlení a správného uchycení OM.

## 12 Použitá literatura

- [1] LEINVEBER, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Třetí doplněné vydání. Praha: Scientia – pedagogické nakladatelství, 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [2] KLETEČKA, Jaroslav; FOŘT Petr. *Technické kreslení*. Druhé opravené vydání. Brno: Computer Press, a.s., 2007. 252 s. ISBN 978-80-251-1887-0
- [3] SKAŘUPA, J., MOSTÝN, V. *Teorie průmyslových robotů*. První vydání. Košice: Viena Košice, 2000. 146 s. ISBN 80-88922-35-6.
- [4] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. První vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0
- [5] ABB. *Technical reference manual – Controller Software IRC5 – System parameters RobotWare 5.0* Revision G. Document ID: 3HAC17076-1.
- [6] CHURA, Zdeněk. *Návrh efektoru(ů) pro IRB140 ABB*. Katedra robototechniky, (diplomová práce), VŠB Ostrava, 75s, 2009
- [7] ERBEN, Milan. *Vakuová technika* [cit. 2010-03-17] Dostupný z WWW: [http://webak.upce.cz/~koanch/DOWNLOAD/Ucební%20texty/Skriptum\\_vacuum.pdf](http://webak.upce.cz/~koanch/DOWNLOAD/Ucební%20texty/Skriptum_vacuum.pdf)
- [8] *DVD SMC Best In Automation 2009 R27 - aktualizace 1.7* [cit. 2010-02-15]. Dostupný z WWW: <http://smc.cz>
- [9] *Piab* [cit. 2010-03-22]. Dostupný z WWW: <http://www.piab.com/>
- [10] *Schmalz* [cit. 2010-03-26]. Dostupný z WWW: <http://www.schmalz.com/?lng=en>
- [11] *Koncové efekторы pre roboty IV - magnetické a podtlakové uchopovacie hlavice* [cit. 2010-04-2]. Dostupný z WWW: <http://www.strojarstvo.sk/docwww/SK/241/cern06.pdf>
- [12] *Koncové efekторы pre roboty* [cit. 2010-04-2]. Dostupný z WWW: <http://www.strojarstvo.sk/docwww/SK/291/291.pdf>

[13] *Vývěva* [cit. 2010-04-10]. Dostupný z WWW:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDv%C4%9Bva>

## 13 Seznam příloh

Katalogový list ejektoru – Řada ZQ

Technické údaje ejektoru – Řada ZQ

Katalogový list přísavek – ZP

Technické údaje přísavek – ZPT/ZPR

Výkres sestavy:	PŘÍSAVKOVÝ EFEKTOR	TOM392-01.00
-----------------	--------------------	--------------

Výrobní výkresy:	PROFIL 30x20	TOM392-01.01
------------------	--------------	--------------

	PROFIL 50x5	TOM392-01.02
--	-------------	--------------

	PROFIL 50x1,5	TOM392-01.03
--	---------------	--------------

### ELEKTRONICKÁ PODOBA DIPLOMOVÉ PRÁCE

CD-ROM: Diplomová práce

Výkresová dokumentace

Model

Přílohy

Záznam o závěrečné práci